

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE



3950-A-2012-0000079

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

HERAUSGEBER:
DER KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE

Jahrgang 12 - 1964

DRUCK UND KOMMISSIONSVERLAG:
WESTHOLSTEINISCHE VERLAGSANSTALT BOYENS & CO. HEIDE I. HOLST.

Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

VAN DER BURGT, C., c. i., Ir., Rijkswaterstaat – Dienst Lauwerszeewerken, Leeuwarden, Noordersingel 68; Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Gutachtergruppe Eider, Kiel, Hindenburgufer 247; ROHDE, HANS, Regierungsbaurat, Wasser- und Schiffsamt Tönning, Tönning, Am Hafen 40; WALTHER, FRIEDRICH, Dr.-Ing., Präsident a. D., Bremen, H.-H.-Meier-Allee 15.

Die Verfasser sind für den Inhalt ihrer Aufsätze allein verantwortlich.
Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers: Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Regierungsbaudirektor i. R. C. HENSEN, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247, gestattet.
Schriftleiter: Dr. habil. E. WOHLBERG, Husum, Nissenhaus.

Inhaltsverzeichnis

VAN DER BURGT, C., Ir., c. i. Die Abdämmung der Lauwerszee	1
Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Gutachtergruppe Eider Gutachten über die Vorschläge zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider . . .	30
WALTHER, FRIEDRICH, Dr.-Ing., Präsident a. D. Die Grundwasserverhältnisse in den Marschgebieten an der Unterweser zwischen Ochtum und Hunte	61
ROHDE, HANS, Regierungsbaurat Die Häufigkeit hoher Wasserstände an der Westküste von Schleswig-Holstein . . .	86
ROHDE, HANS, Regierungsbaurat Nachrichten über Sturmfluten früherer Jahrhunderte nach Aufzeichnungen Tönninger Organisten	113

Die Abdämmung der Lauwerszee*

Von Ir. C. v. d. Burgt

Die Lauwerszee ist eine Bucht am Wattenmeer im Norden der Niederlande. Sie verdankt ihren Namen dem Fließchen *de Lauwers*, das seit undenklichen Zeiten die Grenze zwischen den beiden nördlichsten niederländischen Provinzen Friesland und Groningen bildet.

Wegen ihrer Beschaffenheit ist die Lauwerszee ein typischer Bestandteil des Wattgebietes. Sie weist Sandplaten auf, die nach den Küsten hin schlickreicher werden und dort in Vorländer übergehen, die von einem weitverzweigten Rinnensystem durchzogen sind. Die Breite der Lauwerszee beträgt an der schmalsten Stelle ungefähr 8 km; die Länge von der Rinne Ort im Norden bis zur Südküste ist ungefähr 12 km. Die ganze Oberfläche dieser Bucht beträgt rund 9000 ha.

Ebenso wie an anderen Stellen der niederländischen Nordküste ist im Lauwerszeebereich schon sehr viel Land eingedeicht. Auf diese Weise sind weite Gebiete, die bei der frühen mittelalterlichen Transgression zwischen 300 und 800 n. Chr. und bei der späteren Transgression zwischen 1200 und 1500 n. Chr. vom Meer verschlungen wurden, wiedergewonnen worden. So lagen die Orte Dokkum und Groningen früher an Ausläufern der Lauwerszee, in denen die Tide noch frei ein- und ausschlagen konnte. Durch die Abschließung des Dokkumerdieps im Jahre 1729 und des Reitdiep im Jahre 1877 wurde dieser Zustand beendet.

Anfänglich waren es vor allem die Mönche, die in diesem Gebiet in großem Stil Landgewinnung betrieben haben. Später waren es die größeren Uferanlieger, bis die Landgewinnung im Lauf des 20. Jahrhunderts so teuer wurde, daß sich ihr nur noch der Staat, die Provinz und einige größere Wasserverbände widmen konnten. In der Zeit der großen Arbeitslosigkeit in den 30er Jahren hat der Staat zur Förderung von Arbeitsgelegenheiten in großem Umfang Landgewinnung betrieben.

Die Abrundung der Landgewinnung durch Eindeichungen setzte sich um 1950 durch. Verschiedene Entwürfe für eine Teileindeichung des südlichen Teils der Lauwerszee wurden erwogen. Nach eingehenden Untersuchungen erwies sich schließlich, daß eine vollständige Abdämmung der Lauwerszee größere Vorteile bieten würde als eine Teilabdämmung, weil so verschiedene Ziele erreicht werden konnten. Eine vollständige Eindeichung der Lauwerszee ist fraglos eine vielfältige Aufgabe, durch die nicht nur die eigentliche Eindeichung, sondern auch verschiedene Belange des umliegenden alten Landes berührt werden.

Schon früher gab es Pläne für eine Abdämmung der Lauwerszee, vor allem, um die notleidende Entwässerung Frieslands und von Teilen Groningens und Drenthes zu verbessern. Schon um 1850 wurden solche Pläne veröffentlicht und vor allem mit dem Ziel untersucht, die Entwässerungssiele in die Nähe des tieferen Wassers zu legen, um so die stark an Versandung und Verschlickung leidende Entwässerungsrinne der beiden Provinzen in der Lauwerszee binnendeichs als normale Sielzüge zu gestalten. Damals stand auch noch das Reitdiep weit landeinwärts in offener Verbindung mit der See, wodurch die Entwässerung ebenfalls behindert wurde. Es ist hauptsächlich auf Geldmangel, unzureichende Verständigung zwischen dem Reich und den beiden in Frage kommenden Provinzen und vielleicht auch auf den Mangel an technischen Mitteln zurückzuführen, daß die Abdämmung der Lauwerszee um die Mitte des vorigen Jahrhunderts nicht zustande gekommen ist.

*) Die Abbildungen 1 bis 5, 7, 25 bis 28 und 31 wurden mit freundlicher Erlaubnis der Fryske Akademy in Leeuwarden (Westfriesland) dem Sonderheft „De Lauwerzee“, It Beaken XXV, 1, 1963, entnommen und die beiden Druckstöcke der Abbildungen 24 und 25 vom Deltadienst in 's-Gravenhage dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.

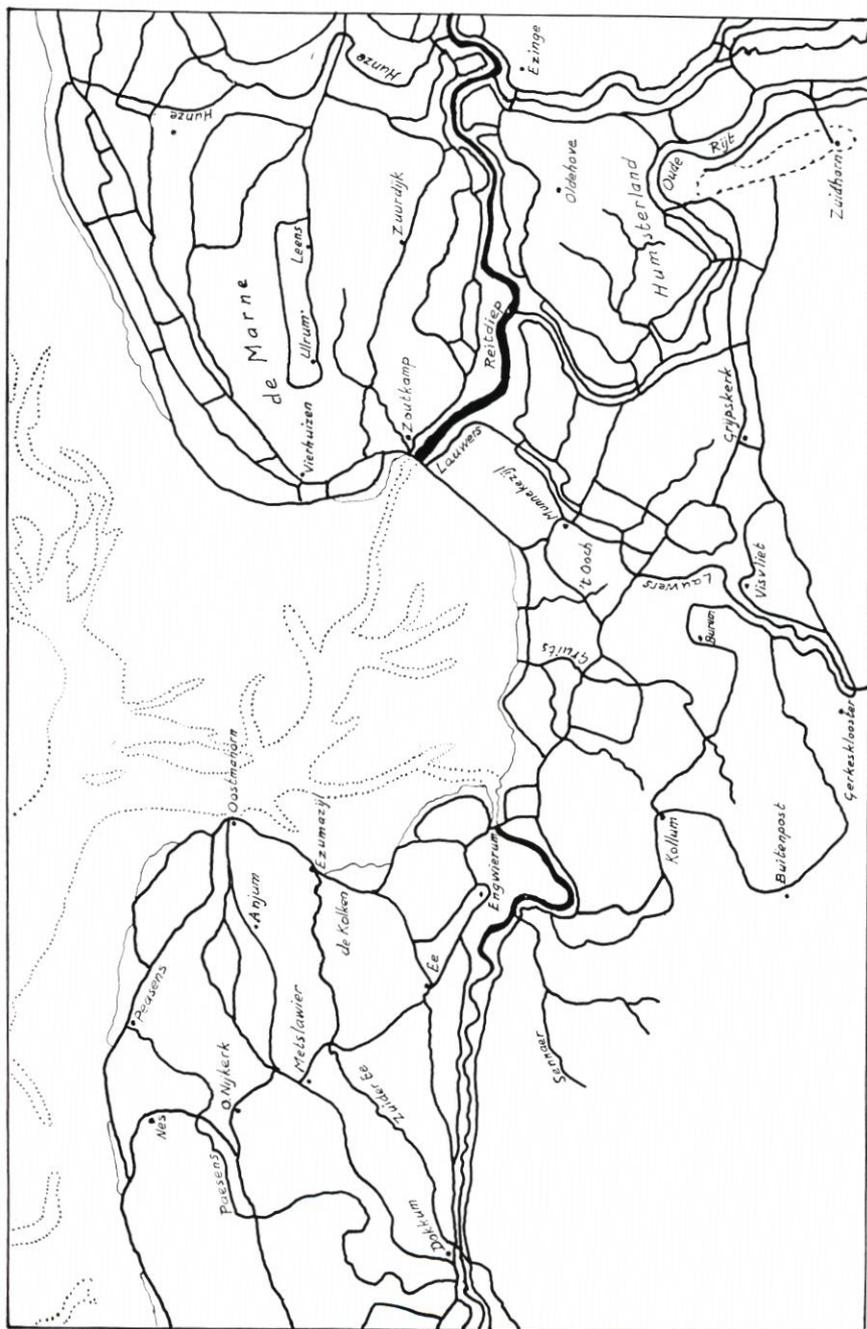


Abb. 1. Karte des Einzugsgebietes der Lauwerssee. Es sind nur die Deiche und natürlichen Wasserläufe dargestellt sowie einige Orte zur Orientierung

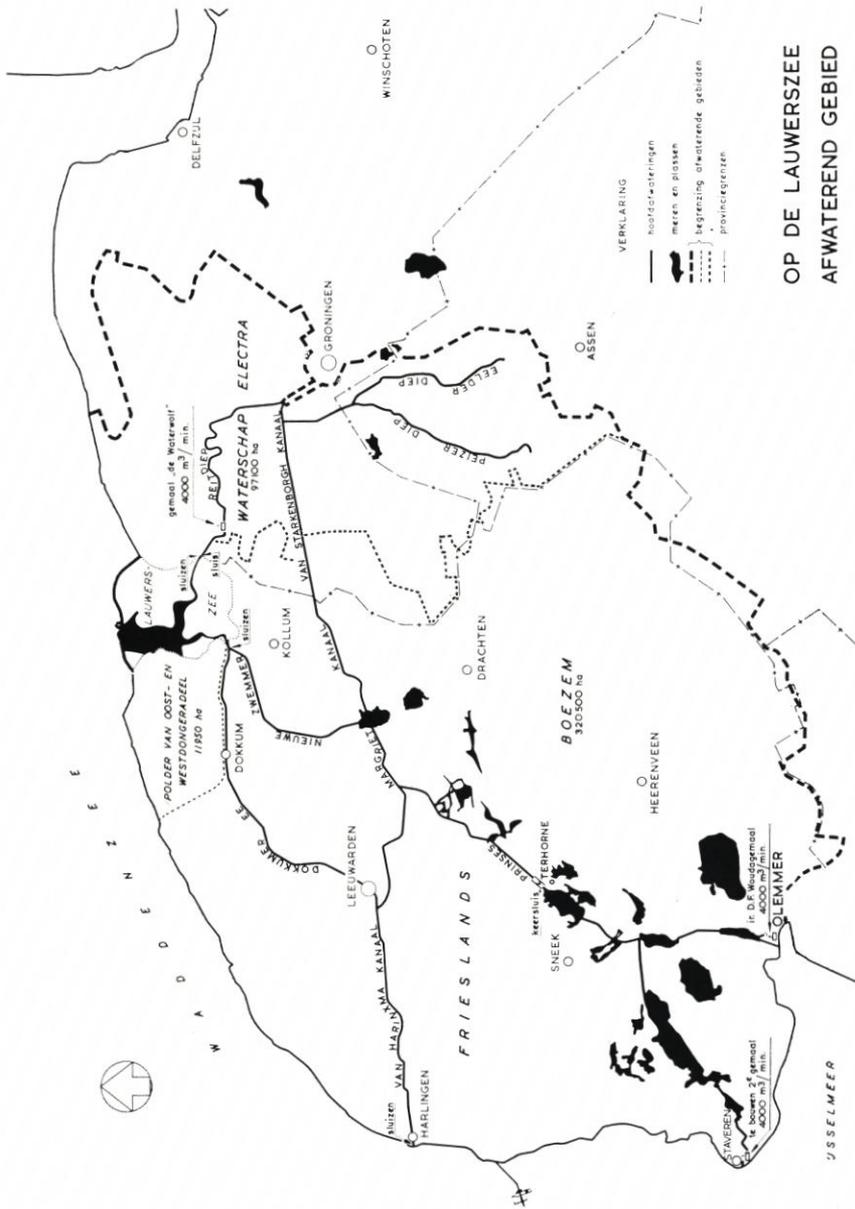


Abb. 2. Einzugsgebiet der Lauwerszee

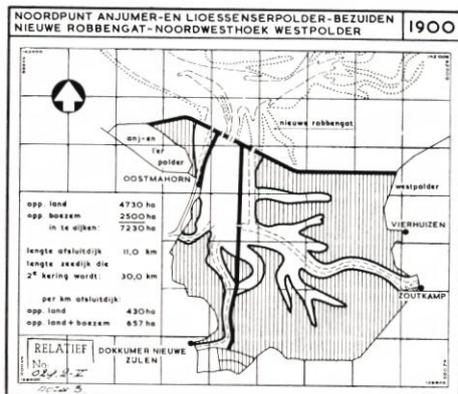


Abb. 3. Abdämmungsentwurf der Staatskommission aus dem Jahre 1900

Wassers aus dem friesländischen Sielzug und aus dem Entwässerungsgebiet in Groningen nach See durchgreifend zu verbessern. So kam die Abdämmung der Lauwerszee erneut auf die Tagesordnung. Aber auch dann war der Plan noch nicht ausführungsreif. Schließlich wurde

Im Jahre 1877 ist das Reitdiep südwestlich von Zoutkamp durch einen geraden Deich von 4 km Länge abgeschlossen worden. Ungefähr 1900 stellten sich wieder Schwierigkeiten bei der Entwässerung des alten Landes ein.

Die Oberflächen der Speicherbecken der großen in die Lauwerszee entwässernden Züge wurden durch die Einpolderung tief gelegener Gebiete und seichter Gewässer ständig verkleinert, während eine zusätzliche Erschwernis in diesen Zügen dadurch eintrat, daß viele Polder in diesen Entwässerungsgebieten verstärkt durch Schöpfwerke entwässert wurden. Andererseits stellte die Landwirtschaft immer höhere Ansprüche an eine gute Wasserbewirtschaftung. Es wurde deshalb notwendig, die Ableitung des

NOORDPUNT ANJUMER-EN LIOESSENSERPOLDER-BEZUIDEN
NIEUWE ROBBENGAT-NOORDWESTPUNT WESTPOLDER 1904

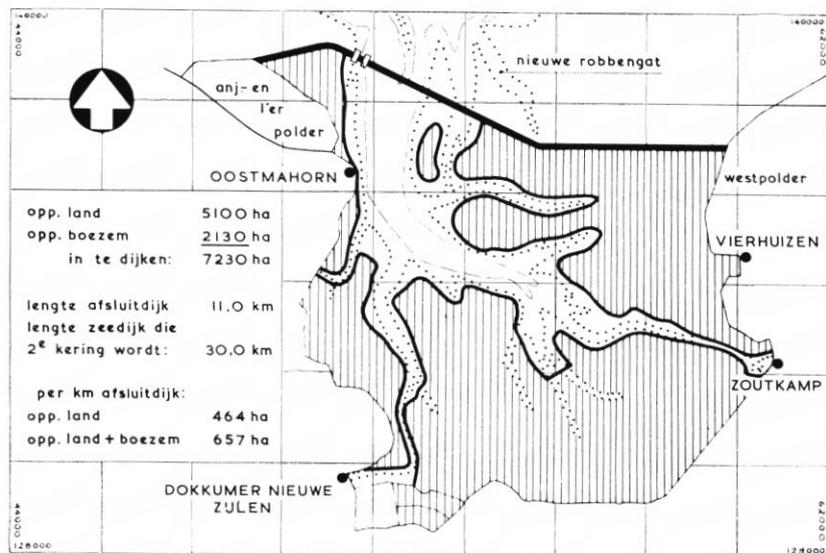


Abb. 4. Entwurf der Lauwersseekommission aus dem Jahre 1904. Charakteristisch für diesen Entwurf ist der für alle in die Lauwerszee entwässernden Gebiete gemeinsame Mahlbussen

beschlossen, die Entwässerung in Friesland sowohl wie in Groningen durch den Bau großer Schöpfwerke zu verbessern.

Als schließlich um 1950 die Abschließung der Lauwerszee erneut zur Debatte stand, schien auch die Verbesserung der Entwässerung dabei eine wichtige Rolle spielen zu sollen. In der

abgeschlossenen Lauwerszee liegen nämlich im ganzen ungefähr 2000 ha Priele, die zu tief sind, als daß sie für immer trockengelegt werden könnten. Diese Rinnen bilden zusammen ein Wasserbecken, das sehr gut dazu geeignet ist, als Wasserspeicher zu dienen. Künftig kann das Wasser 24 Stunden am Tage aus dem umgebenden Lande in dieses Becken fließen, und zweimal täglich kann dieses Wasser durch die Entwässerungssiele im Abschlußdamm ins Meer abfließen. Das Speicherbecken bildet so einen Puffer, der den täglichen Rhythmus der Tide merklich dämpft und dadurch die Möglichkeit schafft, aus dem alten Lande fortwährend Wasser abzuführen.

Als sich dann nach dem 1. Februar 1953, dem Tage der Katastrophenflut im südwestlichen Teil der Niederlande, deutlich zeigte, wie anfällig unsere Deiche im Küstenbereich und nament-

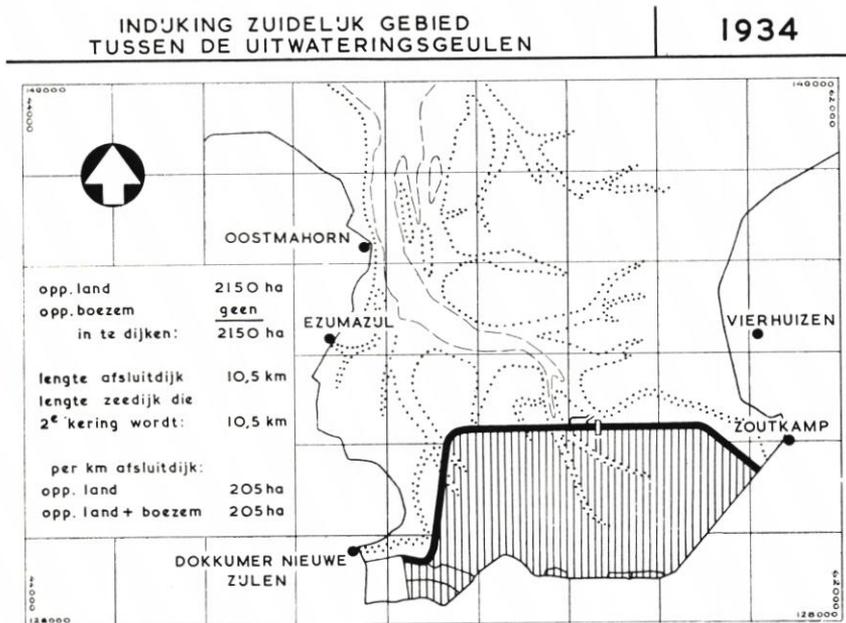


Abb. 5. Entwurf für eine Eindeichung des südlichen Teils der Lauwerszee von dem Domänen-Oberingenieur ir. A. G. VERHOEVEN aus dem Jahre 1934

lich auch die Seedeiche an der Lauwerszee sind, war dies zusammen mit der Verbesserung der Entwässerung Grund genug, eine Teileindeichung der Lauwerszee fallen zu lassen und eine Vollabdämmung in Betracht zu ziehen.

Am 10. Juni 1960 traf der damalige Minister für Verkehr und Wasserwirtschaft die Entscheidung, daß die Lauwerszee abzdämmen sei.

Der Plan für die Abdämmung der Lauwerszee, der jetzt ausgeführt wird, sieht einen Abschlußdamm von 13 km Länge mit einer weit nach Norden ausholenden Trasse vor; dadurch wird erreicht, daß die Bauten praktisch alle in der Nähe befahrbarer Wasserwege ausgeführt werden können, d. h. mit großen Baggergeräten. Weiterhin ist von Vorteil, daß eine möglichst große Länge von Landesschutzdeichen in die zweite Linie kommt und deshalb nicht erhöht zu werden braucht und daß ein so günstiges Verhältnis wie nur möglich von Abschlußdamm-Länge zu der eingedeichten Fläche erreicht wird.

Im Abschlußdamm sind Sielbauwerke mit drei Gruppen von je vier Auslässen von 10 m Breite und einer Drenptiefe von N.A.P. - 5 m vorgesehen. Außerdem kommt eine Kammer-

schleuse mit einer Kammer von 65×9 m und einer Drempeltiefe von N.A.P. $-4,5$ m in den Abschlußdamm. An beiden Enden der Schleuse ist je ein Hafen vorgesehen, von denen der Außenhafen gleichzeitig dem Fährdienst nach Schiermonnikoog und als Fischereihafen für die Fischer dienen soll, die jetzt noch von den kleinen Häfen Zoutkamp und Dokkumer Nieuwe Zijlen (Lauwerszee) und Noordpolderzijl aus an der Nordküste der Provinz Groningen ihrem Gewerbe nachgehen.

Bevor mit der Ausführung der Arbeiten am Abschlußdamm selbst begonnen werden konnte, mußte erst ein Stützpunkt für die Baggergeräte hergerichtet werden. Eine Einbuchtung der Küste in der Nähe der Ortschaft Oostmahorn bot dafür eine äußerst günstige Ge-

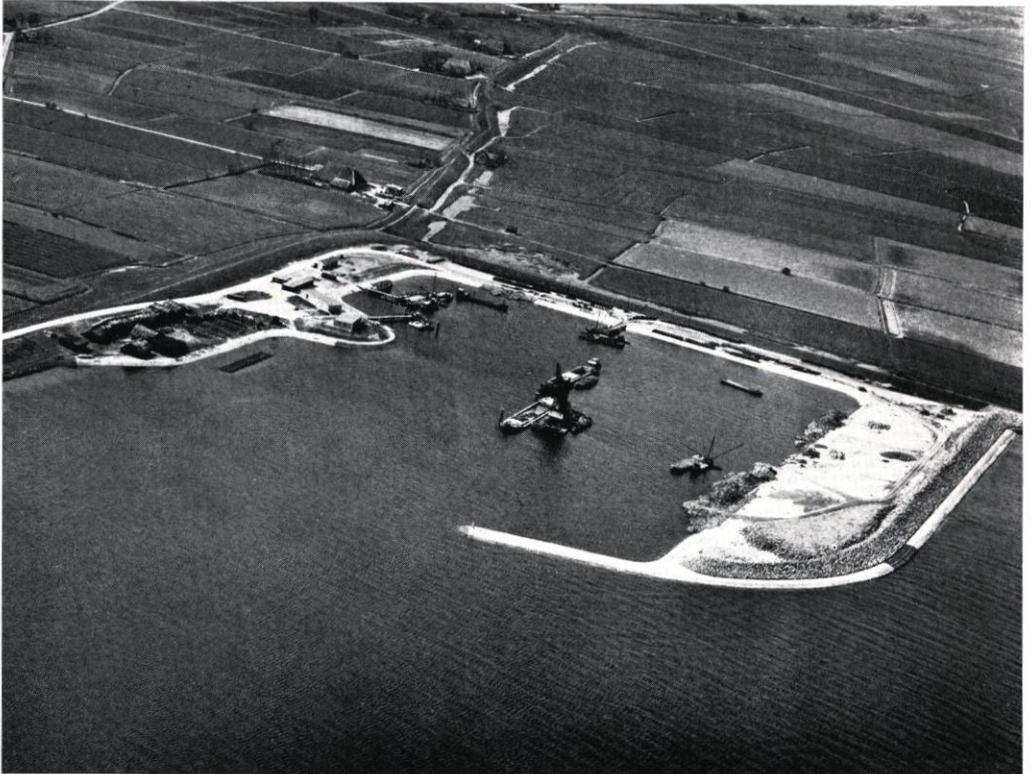


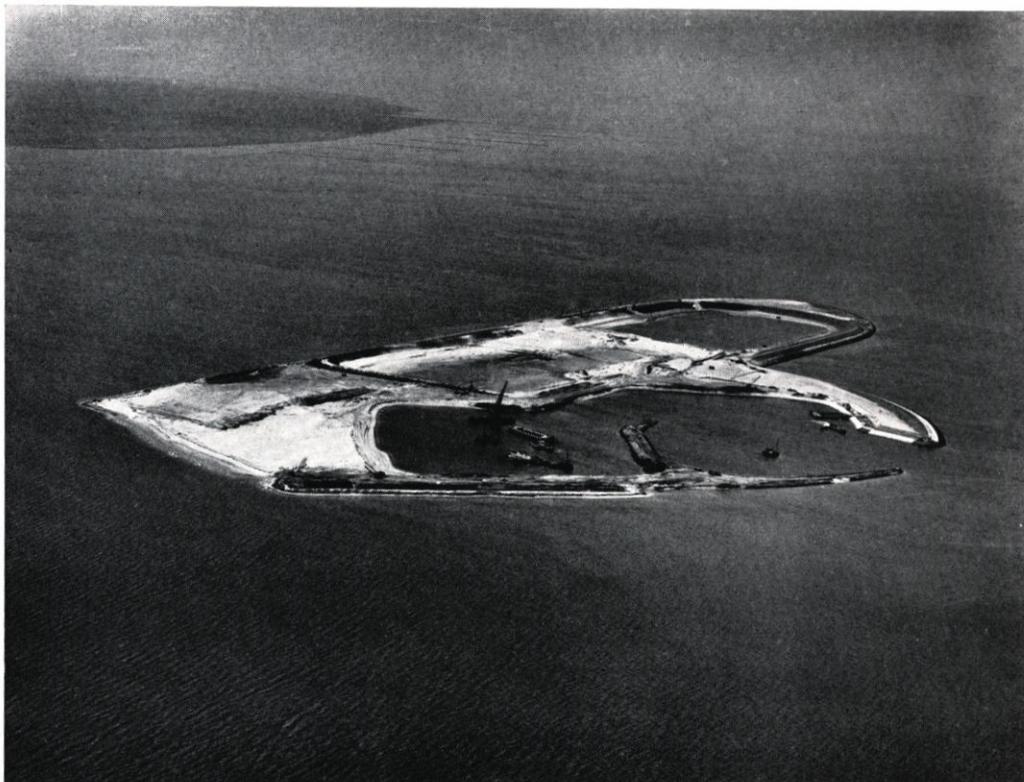
Abb. 6. Bauhafen in Oostmahorn nach Westen gesehen

Archiv Lauwerszee

legenheit. Hier liegt nicht nur der neu anzulegende Hafen ganz dicht am tiefen Fahrwasser nach Oostmahorn, sondern es war hier auch ein Anschluß des Hafens an das Straßennetz leicht herzustellen. Der Hafen brauchte nur an der Nordseite gegen Wellenangriff geschützt zu werden. Es ist dort ein Gelände bis zu einer Höhe von N.A.P. $+ 2$ m aufgespült worden, dessen Böschungen mit einer Steinpackung auf Keilehm (Geschiebemergel) befestigt worden sind. An der Nordseite dieses Geländes ist ein großer Vorrat von Steinen gelagert worden, die im letzten Bauabschnitt benötigt werden und an denen sich bei Sturm die Wellen brechen, so daß der Hafen unter allen Umständen einen sicheren Liegeplatz für die Fahrzeuge bietet. Auch an der West- und der Südseite des Hafens sind Flächen aufgespült worden, die für die Lagerung von Baustoffen und Ketten sowie als Parkplätze usw. dienen können. Außerdem ist hier eine Bank für den Bau von Sinkstücken angelegt worden. Der Hafen liegt nach Osten hin

offen. Das ist kein Nachteil, weil die Wasserstände bei hartem Ostwind stets so niedrig sind, daß ziemlich alle Platen östlich des Hafens trockenfallen und deshalb kein starker Seegang entstehen kann (Abb. 6).

In dem Bauhafen bei Oostmahorn liegen alle Fahrzeuge, welche die Verbindung zwischen den Baustellen und dem Festland aufrechterhalten, wie Fährschiffe, Peilfahrzeuge, Aufsichtsbarkassen usw. Daneben ist ein großer Umschlagsbetrieb in diesem Hafen im Gange; viele zehntausend Tonnen belgischer Schüttsteine werden hier vorübergehend gelagert, die in den



Archiv Lauwerszee

Abb. 8. Die Bauinsel im Zustand von Mai 1963 nach Westen gesehen. Im Hintergrund die Nordküste Frieslands

Jahren verarbeitet werden sollen, in denen der Bedarf größer als die Anfuhrmöglichkeit sein wird. Die meisten Schiffe, die Baustoffe anliefern, melden sich hier, bevor sie weiter zu einer der Lauwerszeearbeiten beordert werden.

Der Bauhafen in dem Bootsgat ist im Jahre 1961 begonnen und im Laufe des Jahres 1962 als Stützpunkt für die Errichtung einer Bauinsel in Benutzung genommen worden.

Für die Kunstbauten im Abschlußdamm und die Durchlaß-Caissons aus Stahlbeton, die für die letzte Schließung gebraucht werden, mußten dann Baugruben hergerichtet und in deren Nähe Lagerflächen und ein Hafen für die Anfuhr aller notwendigen Baustoffe geschaffen werden. Weil die Siele in ihrer unmittelbaren Nähe liegen, lag es auf der Hand, sie in einer gemeinsamen Baugrube herzustellen. In unmittelbarer Nachbarschaft dieser Baugrube liegt der endgültige Vorhafen der Kammerschleuse, der soweit wie möglich mit allem ausgerüstet wird, was

für seine spätere Verwendung als Fähr- und als Fischereihafen notwendig sein wird. So entstand der Plan für die Bauinsel in der Lauwerszee.

Für die endgültige Gestaltung sind viele hydraulische Versuche angestellt worden, denn die Insel liegt auf einer schmalen Sandplate zwischen dem *Oort* und dem *Nieuwe Robbengat* und stellt deshalb ein Hindernis für die Strömungen dar, die über diese Plate laufen. In gewissem Sinne war es gewagt, in diesem Gebiet stets wechselnder Rinnen ein so großes Hindernis zu errichten, wie es die Bauinsel darstellt. Schon von vornherein konnte vorausgesagt werden, daß vornehmlich an der Westseite der Insel eine ziemlich starke Erosion eintreten würde. Das ist später durch die Entwicklung bestätigt worden. Deshalb liegt denn auch die Frage auf der Hand, weshalb die Bauinsel nicht an die Westseite des Fahrwassers nach Oostmahorn gelegt worden ist, wo sie der Strömung viel weniger ausgesetzt ist und wo ein Deich mit einer Straße nach der friesischen Küste leicht errichtet werden konnte. Diese Fragen sind eingehend untersucht worden. Den Ausschlag hat letzten Endes der Umstand gegeben, daß die Rinnen nördlich der Lauwerszee, d. s. das *Zoutkamperlaag* und der *Oort*, sich im Endzustand des Ausbaus wahrscheinlich ungefähr dort anlegen würden, wo der Siel- und Hafenkomples geplant ist.



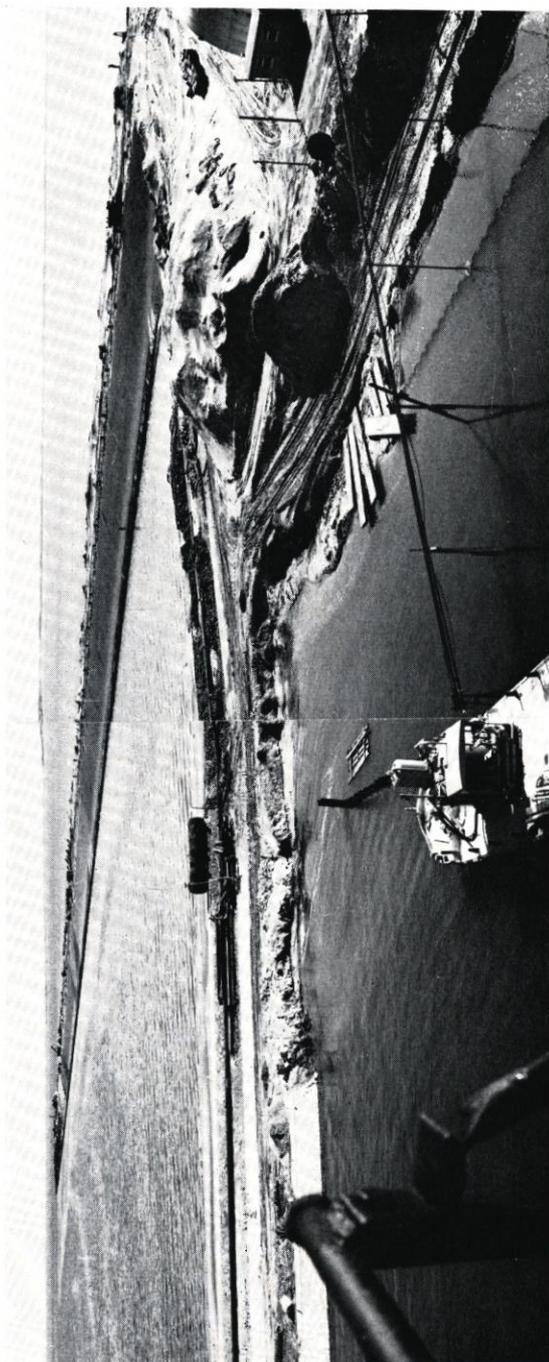
Abb. 9.
Im Winter 1962/63 war der
Hafen der Bauinsel völlig
zugefroren
Archiv Lauwerszee

Dadurch wird es ohne große Unterhaltungsbaggerungen möglich sein, den Hafen jederzeit für die Schifffahrt zugänglich zu erhalten; auch die Entwässerung durch die Siele wird jederzeit ohne Schwierigkeiten möglich sein.

Wenn aber diese Bauwerke westlich des Fahrwassers gelegt würden, dann könnte im Norden des Sielbauwerks und des Hafens eine große Sandbank entstehen, die ständige Unterhaltungsbaggerungen erfordern würde. Gleichartige Überlegungen sind auch bei der Festlegung der Trasse des Abschlußdamms angestellt worden, die viel nördlicher liegt als die Linie, die man zunächst zwischen den beiden Küsten gezogen hatte.

Es ist natürlich schwierig, das zukünftige Verhalten der Rinnen im Wattenmeer nach dem Abschluß der Lauwerszee vorauszusagen. Tideberechnungen haben hier aber gezeigt, daß der *Oort* ungefähr dieselbe Wasserführung behalten wird. Ein Vergleich mit den Veränderungen in den letzten 25 Jahren in dem Rinnensystem nördlich des Abschlußdamms der Zuiderzee zeigt, daß eine Rinne, die ungefähr parallel zu diesem Damm verläuft, sehr wohl ihre Lage behalten kann.

Die Bauinsel hat eine abgerundete Form erhalten, um rund um sie herum ein möglichst regelmäßiges Strömungsbild zu erhalten (Abb. 8). Die anfänglich an der Ostseite geplante Ab-



Archiv Lauwerszee

Abb. 10. Der Bauhafen am Oort wird noch fertiggestellt; der Deich im Osten der Bauinsel ist auf einer Strecke von 1500 m im Bau

rundung ist später nicht ausgeführt worden, weil schon in dem Jahr nach der Fertigstellung der Insel eine 1,5 km lange Dammstrecke im Osten der Insel ausgeführt worden ist. Die Strömungen über die Plate östlich der Insel sind dadurch so schnell geschwächt worden, daß die Abrundung nicht mehr nötig war.

Die Bauinsel bildet den Mittelpunkt für alle Arbeiten bei der Abdämmung (Abb. 10 u. 11). Hier sind die Büros der Unternehmer und des Rijkswaterstaat errichtet; hier sind 150 Arbeiter in einem Lager untergebracht, das ihnen von Montag mittag bis Freitag mittag Unterkunft bietet



Abb. 11.
Unternehmensbaracke für die Arbeiter auf der Bauinsel „Lauwers-oog“ in der Lauwerszee
Archiv Lauwerszee



Abb. 12.
Dämme werden auch aus Keilehm (= Geschiebemergel) hergestellt. Bauzustand Frühjahr 1962 der Bauinsel am Nieuwe Robbengat. Im Hintergrund die Groninger Küste
Archiv Lauwerszee

(Abb. 11). Hier stehen auch die großen Beton-Anlagen für den Bau der Entwässerungssiele, der Kammerschleuse und der Abschluß-Caissons. Alle Anlieferungen für diese Arbeiten und ein sehr großer Teil des Baustoffsbedarfs für die Dammstrecken laufen über den Inselhafen, der hierfür u. a. mit einer 200 m langen Stahl-Spundwand versehen ist, die nach Fertigstellung der Arbeiten als Umschlagkai des Fischereihafens verwendet werden kann. Ein großer schwimmender Anleger dient dem Personenverkehr.

Die Bauinsel ist in einem erstaunlich schnellen Tempo fertig geworden. Am 14. Mai 1962 hat man an der Westseite mit dem Setzen eines Keilehmdammes begonnen; schon vor Dezember

Abb. 13.
Die Böschung aus Kupfer-
schlacken-Formsteinen an
der Nordseite der Bauinsel
hält einem gehörigen
Wellenschlag stand

Archiv Lauwerszee



Abb. 14.
Nach einem vorübergehenden
Durchstich durch die
Betonsteinböschung am
Nieuwe Robbengat wird
die Decke wiederhergestellt

Archiv Lauwerszee



Abb. 15.
Aus Zechenstein werden
viele Dämme errichtet. Bau
des Behelfshafens am Vier-
huizer Gat im Frühjahr
1963. Im Hintergrund die
Küste von Groningen

Archiv Lauwerszee





Abb. 16.
Ein provisorischer Damm
aus Schüttsteinen dient dem
Schutz des Behelfshafens
am Vierhuizer Gat
Archiv Lauwerszee

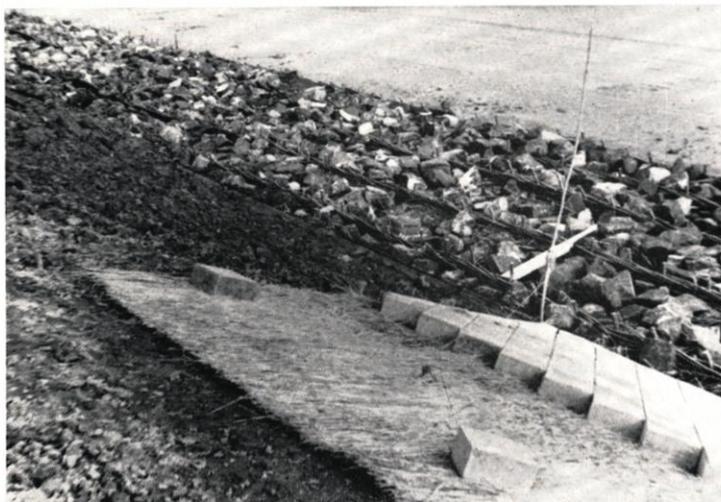


Abb. 17.
Fußsicherung des Abschluß-
dammes an der Innenseite
(Watt). Vor der Spund-
wand Faschinenpackung mit
Schüttsteinen. Oberhalb der
Spundwand auf der tonigen
Abdeckung eine Strohmatte
und darauf Beton-
Formsteine
phot. E. WOHLBERG



Abb. 18.
Sicherung der Innen-
böschung des Abschluß-
deichs. Unten im Vorder-
grund Steinschüttung auf
Buschmatten und Bongossi-
Geflecht; oben Kleischicht,
bedeckt mit Kupfer-
schlacken-Formsteinen auf
Schill
Archiv Lauwerszee

desselben Jahres hatte die ganze 1200 m lange und 300 bis 600 m breite Insel ihre wesentliche Form erhalten! Ebenso wie beim Bauhafen in Oostmahorn sind die Geländeflächen hier mit Sand aufgespült worden, und zwar im Schutz von Keilehm-Dämmen, die vorweg von einem Schwimmkran gesetzt worden waren. Der Keilehm (eine Art Geschiebemergel) konnte auf der Sohle des Fahrwassers nach Oostmahorn etwa östlich dieses Ortes gewonnen werden (Abb. 12).

Auch hier sind alle Böschungen mit Setzsteinen befestigt. Größtenteils sind dafür Kupferschlackensteine verwendet worden, die aus Ost-Deutschland kamen (Abb. 13 und 14). Der Keilehm ist auf den Böschungen ins Profil gebracht und mit einer Strohmatten abgedeckt worden (Abb. 17); dann sind die Steine auf einer 15 cm starken Zwischenschicht aus Schill verlegt worden. Diese Konstruktion hat sich gut bewährt, mindestens bei einem vorläufigen Bauwerk. Auf der Südseite der Insel und im Hafen, wo der Seegang weniger stark ist, sind Betonsteine — ebenfalls auf einer Schill-Schicht — verwendet worden (Abb. 18). Weil die Böschungen meistens im Bereich des Tidewechsels lagen, war es im Interesse einer schnellen und guten Ausführung nicht so sehr erwünscht, Asphalt zu verwenden. Das galt um so mehr, als die meisten Böschungen nur eine vorübergehende Bedeutung haben und nach Fertigstellung der Siele wieder beseitigt werden müssen. Vor allem werden die Kupferschlackensteine nach Wiedergewinnung ohne weiteres wieder verwendet werden können; die Betonsteine werden wahrscheinlich doch viele Schäden erlitten haben und nicht alle mehr geeignet sein, erneut in eine Böschung eingebaut zu werden.

Sowohl für den Bauhafen im Bootsgat als auch für die Bauinsel sind verschiedene Konstruktionen für die Böschungen untersucht worden, vor allem im Hinblick auf die Zwischenschichten. Beim Bau des Werkhafens sind auch Versuche mit Potklei gemacht worden, einem ziemlich bindigen Klei, der ebenso wie der Keilehm in dem Fahrwasser nach Oostmahorn gefunden werden konnte. Die umfangreichen Erfahrungen mit diesen Versuchen werden bei der weiteren Ausführung der Lauwerszeearbeiten verwertet werden können.

Einige Jahre wird auf der Bauinsel an den Sielen und den Durchlaß-Caissons für die Schließung zu tun sein. In der Zwischenzeit werden verschiedene Dammstrecken hergestellt werden können. Damit hat man schon 1963 begonnen. Es ist das Ziel, die Arbeiten möglichst so zu fördern, daß nach der Fertigstellung der Siele und der Beseitigung der Baugrubendämme alle Dämme fertig sind mit Ausnahme der eigentlichen Schließstrecke. Es kann sein, daß gewässerkundliche und vielleicht auch geldliche Überlegungen dazu führen, das vorläufige Zeitprogramm, das eine Schließung im Jahre 1969 vorsieht, während der Bauausführung noch in einigem zu ändern.

Das Bauen im Wattenmeer bietet besondere Probleme. An sich ist den niederländischen Unternehmern das Arbeiten im Tidegebiet nicht fremd, aber durch die Höhenlage des Wats wird hier eine besondere Komplikation verursacht. Normalerweise fällt das Watt in dem fraglichen Gebiet bei Niedrigwasser ungefähr drei bis vier Stunden lang trocken. Nach Einsetzen der Flut wird das Watt acht bis neun Stunden lang überströmt, wobei die größte Wassertiefe bei Hochwasser ungefähr 1,60 bis 1,80 m beträgt. Das heißt, daß man auf einem solchen Boden so gut wie nicht gehen oder mit Landfahrzeugen verkehren kann, aber ebensowenig ist es möglich, einen Schiffsverkehr zu betreiben. Wenn man hier Arbeiten ausführen will, dann muß man seine Zuflucht zu besonderen Arbeitsweisen nehmen. Entweder muß man das Watt für einen Schiffsverkehr herrichten, d. h. man muß an dem herzustellenden Bauwerk entlang eine Schifffahrtsrinne baggern oder man muß es für einen Wagenverkehr herrichten, d. h. man muß das Watt im Bereich des Bauwerks aufhohen. Nach eingehender Abwägung der Vor- und Nachteile beider Möglichkeiten hat man sich schließlich für den Landverkehr entschieden. Bevor eine Dammstrecke ausgeführt wird, wird das Watt durch Sandaufspülung auf eine Höhe von etwa 0,5 bis 1 m über mittlerem Hochwasser gebracht.

Aller weiterer Materialtransport und die Personenbeförderung spielen sich auf dem fertigen Damm ab; das setzt voraus, daß jeder Dammabschnitt bei seiner Herstellung mit einem Anfuhrhafen Verbindung haben muß, über den der ganze Nachschub läuft. In einen solchen Hafen oder in dessen Nähe muß auch der Spüler gelegt werden, der den Sand für die herzustellende Dammstrecke aufspült. Für den Bau des Abschlußdammes in der Lauwerszee sind im ganzen drei Behelfshäfen nötig, und zwar der auf der Bauinsel, einer beim *Vierhuizergat* und einer westlich des Fahrwassers nach Oostmahorn.

1963 ist der Umschlagplatz am *Vierhuizergat* hergestellt worden. Dieser besteht aus einem 500 m langen Dammabschnitt, der vorläufig noch nicht auf volle Höhe gebracht worden ist und eine ebene Oberfläche erhalten hat, die als Arbeits- und Umschlagplatz dienen kann. An der Nordseite dieses Abschnitts ist ein Hafenbecken geschaffen worden, das in unmittelbarer Verbindung mit dem *Vierhuizergat* steht. Das Hafenbecken wird im Nordwesten von einem Damm aus Schüttsteinen geschützt, der gleichzeitig als vorübergehendes Vorratslager dient, dessen Steine zum Schluß verarbeitet werden sollen (Abb. 16).

Der Bau der verschiedenen Dammabschnitte ist so vorgesehen, daß die Wasserbewegung so wenig wie möglich gestört wird. Erst in der letzten Phase der Bauarbeiten werden die Stromgeschwindigkeiten bei Flut und bei Ebbe dann größere Werte annehmen.

Die Dammstrecken, die zunächst für den Bau in Betracht kommen, sind die im Osten der Bauinsel — hier ist 1963 eine 1500 m lange Strecke hergestellt worden —, die zwischen der Groninger Küste und dem Umschlagplatz am *Vierhuizergat* — hier wurde im Sommer 1964 eine 2,8 km lange Strecke gebaut — und die an die friesische Küste anschließende Strecke von etwa 2,5 km Länge (1965 im Bau).

Die Wassermenge, welche die drei Dammabschnitte überströmt, ist gering oder sogar praktisch gleich null, so daß der Bau das allgemeine Strömungsbild wenig beeinträchtigt. Anders sieht es aus mit der Dammstrecke zwischen der Bauinsel und dem Umschlagplatz am *Vierhuizergat*, der restlichen Dammstrecke also, auch wohl die östliche Schließöffnung genannt, welche die recht erhebliche Wasserbewegung über die Ballastplate unterbinden soll.

Infolgedessen wird die Wasserführung im *Nieuwe Robbengat* südlich der Bauinsel um etwa die Hälfte zunehmen.

Es liegt deshalb auf der Hand, daß dieser Dammabschnitt erst dann geschlossen werden soll, wenn die übrigen Strecken fertiggestellt sind, d. h. also so kurz wie möglich vor der endgültigen Schließung.

Im Gebiet der Schließöffnung stoßen zwei Priele unter einem Winkel von fast 90° aufeinander, und zwar das Fahrwasser nach Oostmahorn mit einer Wasserführung von ungefähr 100 Millionen m³ und das *Nieuwe Robbengat* mit einer Wasserführung von ungefähr 20 Millionen m³. Die schräge Anströmung bei Ebbe, die infolgedessen in der Schließöffnung entstehen wird, bereitet beträchtliche Schwierigkeiten. Nach einer eingehenden gewässerkundlichen Untersuchung ist beschlossen worden, der Schließöffnung eine verhältnismäßig große Breite von 900 m bei einer Tiefe von N.A.P. — 6 m zu geben. Die Schließöffnung ist dann noch etwas breiter als das Fahrwasser nach Oostmahorn an Ort und Stelle. Deshalb muß westlich der Bauinsel noch eine ungefähr 800 m lange Dammstrecke vorgesehen werden, welche die Verbindung zwischen dem östlichen Widerlager der Schließöffnung und der Bauinsel darstellt. Zum größten Teil liegt diese Dammstrecke auf dem Ausläufer der Plate zwischen dem Oort und dem *Nieuwe Robbengat*, die aber wegen der veränderten Strömungsverhältnisse um die Bauinsel seit deren Errichtung langsam abgetragen wird. Es kommt deshalb darauf an, mit dem Bau dieser Dammstrecken nicht mehr zu lange zu warten, um so mehr, als die Vorbereitungen für den Drempeel, auf dem die Caissons abgesetzt werden sollen, ebenfalls umfangreiche und langwierige Arbeiten erfordern.

Bisher war es bei den Dammschließungen in den Niederlanden üblich, den DrempeI, auf dem die Abschlußbauteile abgesetzt werden müssen, zeitlich möglichst kurz vor der Schließung fertigzustellen. Bei dieser Schließung muß aber eine andere Bauweise gewählt werden, wobei die Fertigstellung des DrempeIs über mehrere Jahre verteilt werden muß, um zu annehmbaren Ausführungszeiten zu kommen. Auf der einen Seite bedingt dies vielleicht eine etwas schwerere Bauweise oder eine größere Ausdehnung der Sohlensicherung, auf der anderen Seite werden aber die Risiken der Ausführung kleiner, weil es dann nicht mehr notwendig ist, danach zu streben, die DrempeI in einem zu sehr beschleunigten Tempo während eines Baujahres fertigzustellen.

Die Ausbildung des Abschlußdammes ist auf Grund von Erfahrungen bei den Zuiderzee- und den Delta-Arbeiten entwickelt und den besonderen Problemen angepaßt worden, die das Bauen im Wattgebiet mit sich bringt. Wie oben bereits ausgeführt, ist der Damm auf einem aufgehöhten Gelände erbaut worden. Infolgedessen liegen die Fußpunkte der beiden Böschungen höher als es sonst der Fall sein würde. Um gut gegen Wellenschlag gesichert zu sein, muß

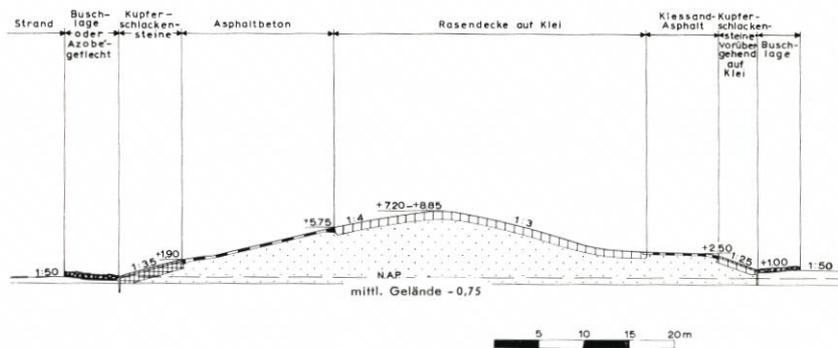


Abb. 19. Querschnitt des Abschlußdammes

eine Böschung so weit wie möglich nach unten durchgezogen sein. Andererseits ist aber eine Böschung unterhalb eines bestimmten Wasserstandes nur schwer herzustellen. Dieser Wasserstand wird naturgemäß durch die mittleren Hoch- und Niedrigwasserstände bestimmt, die in der Lauwerszee N.A.P. +0,96 m und -1,44 m betragen. Bis zu einer Höhe von N.A.P. -0,75 m kann die Fußsicherung mit der oberhalb anschließenden Böschung noch ziemlich leicht ausgeführt werden. Um den Fortgang der Arbeiten nicht zu sehr zu behindern, ist der Außenfuß an der Wattseite aber auf N.A.P. -0,50 m gelegt worden und in der Nähe der Groninger Küste, wo die Sandplate höher liegt, sogar noch höher. Im allgemeinen heißt das, daß vor dem Fuß eine schwach geneigte Berme mit einer Neigung von beispielsweise 1:40 mit einer Höhe von 30 bis 50 cm Höhe aufgespült werden muß.

Auf verschiedenen Strecken des Abschlußdammes wird sich die Berme wahrscheinlich halten und möglicherweise durch Aufschlickung und Versandung noch etwas erhöhen. Andere Strecken aber, die dem Wellenangriff und der Strömung etwas stärker ausgesetzt sind, werden vielleicht abnehmen, was einige vorsorgliche Maßnahmen außerhalb der Fußsicherung notwendig macht. Wegen der hohen Lage der Berme kommt hier eine Bauweise mit Faschinen als endgültiger Schutz weniger in Betracht. Es werden deshalb Flechtwerke aus Bongossi von 6 m Breite verwendet, auf die leichte Schüttsteine von 10 bis 80 kg Einzelgewicht mit 300 kg/m² aufgebracht werden (Abb. 17 und 18). Natürlich kann diese Sicherung bei einer sehr starken Abnahme der Berme später immer noch erweitert werden, um zu verhindern, daß die Berme

vor dem Fuß zu stark abnimmt. Auf der Innenseite des Dammes, auf der der Schutz einen ganz vorübergehenden Charakter hat, weil ja nach der Abdämmung die Lauwerszee trockenfallen wird, wird der Fuß höher gelegt, und zwar auf N.A.P. + 1,0 m, den Wasserstand des mittleren Hochwassers. Abgesehen davon, daß auf diese Weise eine schnelle Ausführung der Böschungsarbeiten gewährleistet ist und die Breite der Böschung ansehnlich beschränkt wird, weil große Teile der Binnenböschung jetzt aus Sand bestehen, kann als weiterer Vorteil vermerkt werden, daß die Berme auf der Südseite des Binnenfußes als Zufahrtsweg für Baustoffe während der Bausausführung benutzt werden kann, was denn auch in großem Umfang geschieht.

Für den Fuß an der Wattseite des Dammes, der eine bleibende Bedeutung hat, wird eine 4 cm starke Bongossi-Spundwand verwendet. An der Wattseite wird eine einfache, mit Kreosot



Abb. 20.
Die vollautomatische Asphaltfabrik für die Lauwerszee-Bauten hat eine Leistung von 60 t Asphaltbeton in der Stunde
Archiv Lauwerszee

behandelte Bretterwand eingebaut. Hier wird der Fuß durch eine einfache Faschinenpackung gesichert, die mit Schüttsteinen abgedeckt wird.

Der Dammkörper selbst besteht überwiegend aus Sand, der an der Außenseite mit Asphaltbeton und an der Innenseite mit Kupferschlackensteinen auf Klei geschützt ist. Auf beiden Seiten ist in der Böschung eine Berme angeordnet. Die Außenberme, die auf N.A.P. + 2,30 m liegt, dient der Unterhaltung des Dammes; auf der Innenberme, die breiter ist, liegt eine Straße, die gleichfalls der Unterhaltung des Dammes dient, aber darüber hinaus die Verbindung der Häfen und Schleuse mit dem Festland darstellt (Abb. 19).

Die Asphaltbekleidung an der Wattseite des Dammes war beim Entwurf anfänglich über die Außenberme und den tiefer liegenden Teil der Außenböschung hinweggeführt worden. Dies schien aber nach Untersuchungen des Deltadienstes Schwierigkeiten mit sich zu bringen. Die für Wasser ziemlich undurchdringliche Asphaltschicht kann nämlich nach dem Eintreten eines hohen Wasserstandes von der Dammböschung hochgedrückt werden. Ein solcher Fall tritt ein, wenn das Wasser, das während eines Sturms zwar schnell in den Deichkörper eindringen, aber nach dem Sturm dem Abfall des Außenwasserstandes nicht so schnell folgen kann. Um diesen Wasserdruck widerstehen zu können, mußte die untere Partie der Außenböschung mit einer sehr schweren Asphaltbetonschicht abgedeckt werden. Ein ausführliches Versuchsprogramm ergab schließlich die jetzt ausgeführte Lösung, bei der der unterste Teil mit einer Decke versehen

Die Abbildungen 21a bis 21d zeigen die Herstellung der Asphaltbeton-Böschung an der Außenböschung des Abschlußdammes. Die Asphaltmasse wird mit Frontladern herangeschafft, welche die Masse aus einem Stahltrug schöpfen, in den die Lastkraftwagen ihre Ladung gekippt haben



Abb. 21a.
Archiv Lauwerszee



Abb. 21b.
Archiv Lauwerszee



Abb. 21c.
Archiv Lauwerszee



Abb. 21d.
Wie zu Abb. 21a
Archiv Lauwerszee



Abb. 22.
Der Einbau der Befestigung
aus Sand-Kies-Asphaltbeton
auf der Innenberme des
Dammes
Archiv Lauwerszee



Abb. 23.
Die Asphaltböschung einer
Deichstrecke östlich der
Bauinsel. Im Hintergrund
der Bauhafen an dem Ort
Archiv Lauwerszee

wird, die stärker durchlässig ist als der darüber anschließende Asphaltbeton. Hier ist nämlich eine 1 m starke Schicht Zechenstein (Abraum der Kohlengruben) in der Böschung angeordnet, bedeckt mit 5 cm feinem Kies von 5 bis 15 mm und darüber mit 33×20 cm großen und 20 cm starken Kupferschlackensteinen gepflastert. In dieser Decke, die von innen nach außen immer durchlässiger wird, können nirgendwo große Wasserdrücke entstehen. Selbst wenn der Zechenstein durch Verwitterung langsam in eine kleiartige Masse übergehen sollte, würde die Gesamtstärke dieser Konstruktion doch noch genügen, einem etwa auftretenden Wasserüberdruck von innen her Widerstand zu leisten. Die Zwischenschicht von Kies hat man für diese endgültige Konstruktion gewählt, weil angenommen wird, daß sie noch etwas weniger anfällig gegen Ausspülen durch die ziemlich breiten Fugen zwischen den Kupferschlackensteinen sein wird als eine Schillschicht. Obgleich dies noch nicht erwiesen ist, besteht natürlich die Möglichkeit, daß der Schill auf die Dauer gesehen mehr oder weniger vergriest und dann Stückchen für Stückchen durch die Fugen nach außen kommt und verlorengeht.

Die Asphaltbekleidung läuft auf der Außenberme durch und schließt in einer Stärke von 50 cm an die Zechenstein- und Kupferschlackenstein-Bekleidung an (Abb. 21b). Die Stärke nimmt auf 6 m Breite auf 20 cm ab und bleibt so bis zur Oberkante der Asphaltbetonböschung auf N.A.P. + 5,75 m. Die Asphaltbetonschicht wird in einer Lage in 3 m breiten Bahnen von unten nach oben aufgebracht (Abb. 21c). Nach dem Aufbringen des Asphaltbetons, der mit Frontladern auf die Böschung verstrützt wird, wird er mit einer 1000-kg-Walze verteilt und, wenn die Masse einigermaßen abgekühlt ist, mit einer Vibrationswalze von 800 kg abgewalzt.

Wegen der großen Standfestigkeit, die der aufgespülte Sand aus der Lauwerszee gleich nach dem profilmäßigen Einbau besitzt, auch wenn daran später noch etwas gerührt wird, ergab sich die Verdichtung des aufgebrachten Asphaltbetons in ganzer Stärke als ziemlich gleichmäßig. Es sind sogar Proben entnommen worden, bei denen die Verdichtung an der Unterseite der Schicht größer war als an der Oberfläche.

Der Asphaltbeton wird mit einer Schicht Asphaltbitumen-Emulsion versehen, die zum besseren Aussehen des Dammes mit Perlkies bestreut wird (Abb. 23).

Im übrigen wird der Sandkörper mit einer 100 cm starken und an der Lauwerszee-Seite mit einer 80 cm starken Kleischicht bedeckt. Es ist beabsichtigt, die vorübergehende Böschungsdecke aus Kupferschlackensteinen an der Lauwerszee-Seite nach der Schließung des Dammes aufzunehmen und oberhalb der Asphaltböschung einzubauen, um damit einen allmählichen Übergang von dieser Decke zu der Rasendecke auf der Kleischicht zu schaffen.

Wenn die Kupferschlackensteine an der Innenseite aufgenommen und die Zwischenschicht aus Schill entfernt sind, kann auf der Kleischicht darunter eine Rasendecke angesät werden.

Die Höhen des Dammes und der Böschungen sind durch die von der Deltakommission festgelegte Richthöhe ("ontwerp-peil") von N.A.P. + 5,45 m bestimmt, einen Wasserstand, der im Mittel ungefähr einmal in 4000 Jahren eintreten wird. Bei der Festlegung dieser Höhe ist so weit wie möglich dem Umstand Rechnung getragen worden, daß in den nächsten Jahrzehnten mit weiteren Eindeichungen im Wattengebiet begonnen werden wird, wodurch der Damm möglicherweise in 50 Jahren in die zweite Linie kommen wird.

Die Auslaßsiele im Abschlußdamm sind ein interessantes Bauwerk. Die Abmessungen sind so gewählt, daß auch unter extremen Verhältnissen eine genügende Beherrschung der Wasserstände in der Lauwerszee gesichert ist, wenn der Abfluß aus dem Entwässerungsgebiet sehr erheblich ist. Auch mit der Möglichkeit hat man gerechnet, daß die Tideniedrigwasserstände auf See mehrere Tiden hindurch so hoch sein werden, daß kein Sielzug stattfinden kann. Unter den Umständen könnte drinnen langsam ein ziemlich hoher Stand von beispielsweise N.A.P. - 0,40 m bis N.A.P. erreicht werden. Je höher indessen der Wasserstand im Lauwerszee-Becken angespannt wird, um so eher besteht die Möglichkeit, nach See hin auszulassen (Abb. 24 und 25).

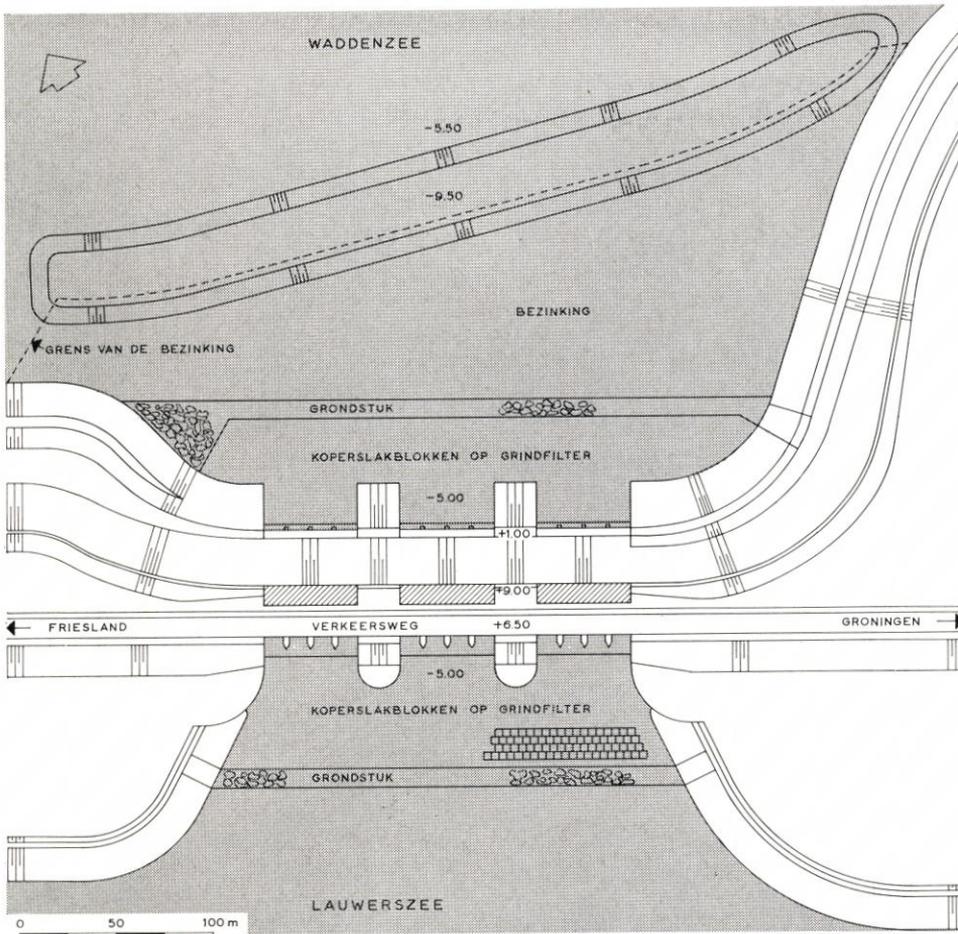


Abb. 24. Das Auslaßbauwerk im Abschlußdamm (Aufsicht)

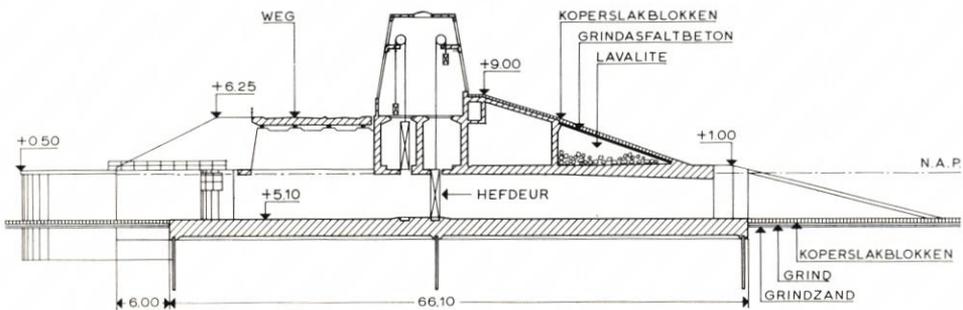


Abb. 25. Das Auslaßbauwerk im Querschnitt

Auch die Frage ist untersucht worden, ob eine große Wahrscheinlichkeit dafür besteht, daß eine Periode hoher Niedrigwasserstände auf See mit einem großen Anfall aus dem Entwässerungsgebiet zusammenfällt. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Zusammentreffens ergab sich als so gering, daß mit ihr kaum oder gar nicht gerechnet zu werden braucht. Allerdings kann

Wasserstände in Oostmahorn, bezogen auf NAP,

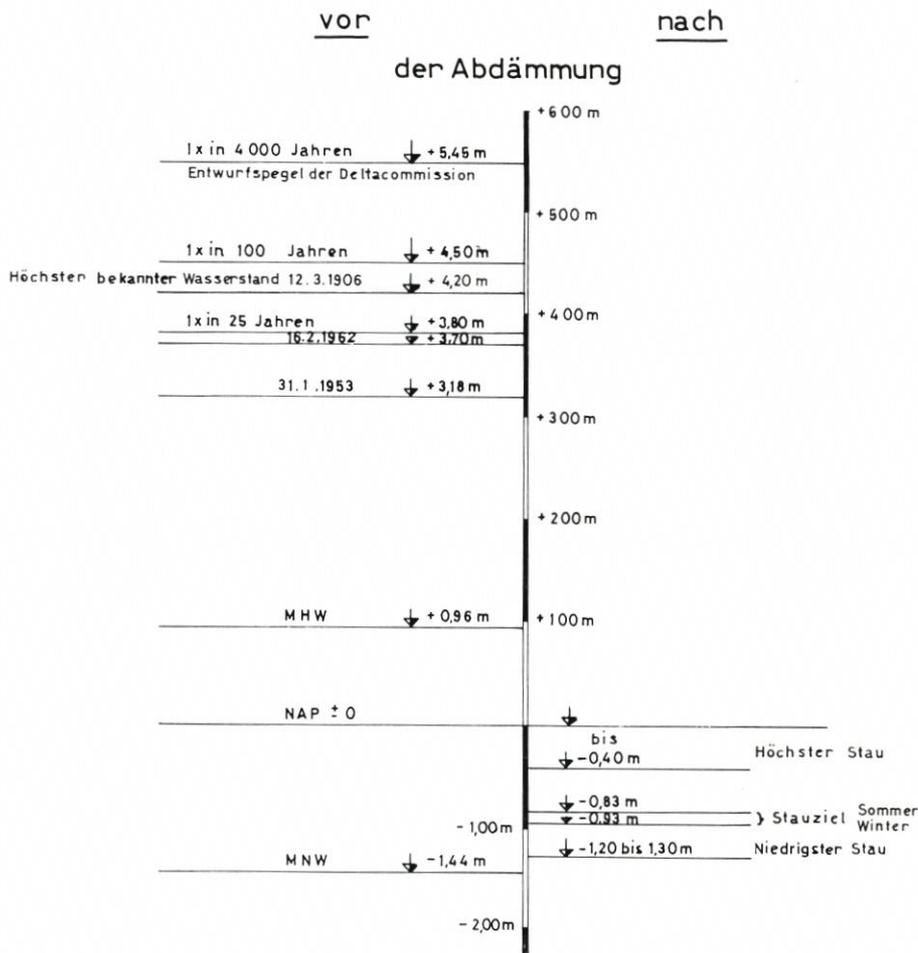


Abb. 26

der Fall eintreten, daß in einer Zeit ziemlich starker Niederschläge die Vorflut einigermaßen behindert ist oder daß ein mittlerer Niederschlag mit einer längeren Periode behinderter Vorflut zusammenfällt.

Der Angriff, den das ausströmende Wasser auf das Sturzbett unterhalb der Entwässerungssiele ausführt, war für deren Abmessungen ausschlaggebend. Obgleich die ganze Durchflußbreite für die Entwässerung ungefähr 100 m betragen könnte, erwies es sich wegen der Sturzbetten als vorteilhafter, sie auf 120 m zu vergrößern. Infolgedessen werden nämlich die Stromgeschwindigkeiten beim Auslassen nicht höher als etwa 4 m/s werden, selbst in dem besonderen Fall, daß der Wasserspiegel im Lauwerszee-Becken hoch liegt und das Außenwasser sehr schnell

fällt. Modellversuche haben gezeigt, daß die Sturzbetten am besten kein Gefälle erhalten, sondern waagrecht gelegt werden, und zwar auf der Höhe des Dremfels der Entwässerungssiele, d. h. auf N.A.P. -5 m. Wenn alle drei Gruppen der Siele voll geöffnet sind, kann sich ein sehr regelmäßiges Strömungsbild ergeben, das ein Minimum an Turbulenz aufweist und das deshalb die Sohlenbefestigung von den Sielen am wenigsten angreift. Auf der Wattseite der Siele sollen die Sturzbetten mit einer möglichst steilen Unterwasserböschung abschließen. Die volle Breite des Sturzbettes beträgt 120 bis 170 m; die Breite wechselt, weil das am weitesten nach Osten gelegene Siel die größte Erosion aufweist. Wegen der Bodenverhältnisse ist der ganze Sielkomplex in drei Gruppen aufgeteilt. Das hat zugleich den Vorteil, daß mit zwei Gruppen entwässert werden kann, ohne daß dies Schwierigkeiten bei der Ausführung von Unterhaltungsarbeiten an der dritten Gruppe der Auslässe bietet. Die Durchlässe sind so niedrig gehalten, daß sie an der Außenseite fast ganz von der Außenböschung des Dammes geschützt sind. Die Decke der Auslässe liegt nämlich mit einer Höhe von N.A.P. $-0,5$ bis N.A.P. noch etwas über dem höchsten Binnenwasserstand. Dadurch wird insbesondere der Wellenschlag gegen die Verschlüsse in den Auslässen bei schweren Stürmen und hohen Wasserständen beträchtlich verringert. Modellversuche haben gezeigt, daß sich die Wellenstöße unter diesen Umständen in den Sielauslässen so gut wie nicht fortpflanzen konnten. Trotzdem können die Verschlüsse, in diesem Fall zwei hintereinander angeordnete stählerne Schützen, schwer beansprucht werden, wenn bei Wasserständen zwischen N.A.P. $-1,40$ m (mittleres Niedrigwasser) und N.A.P. $-0,60$ m Wellen von 50 bis 80 cm Höhe in die Durchlässe eindringen. Unter solchen Umständen, die ziemlich häufig eintreten dürften, können sich die Wellen an den Schützen gleichsam festlaufen und in sehr kurzer Zeit von beispielsweise $1/200$ s plötzlich sehr hohe Drücke bis zu 50 t/m^2 erzeugen. Mit Rücksicht hierauf ist an der Außenseite der Schützen über die volle Breite des oberen Anschlags eine ziemlich breite Öffnung gelassen, wodurch die Welle in den Schützkammern hochsteigen kann, so daß dadurch die Wellenschläge merklich verringert werden. Dies ist natürlich an der Lauwerszee-Seite der Schützen nicht möglich, wo ebenfalls solche Wellenschläge auftreten können. Hier beabsichtigt man, die Kraft des Wellenschlages durch einen federnden oberen Anschlag, der bei einer zu großen Wellenbelastung gegen den äußeren Überdruck aufgedrückt wird, zu schwächen.

Alle vierundzwanzig Schütztafeln werden elektrisch in die Kammern oberhalb der Durchlässe hochgezogen. Für Unterhaltungsarbeiten können sie noch höhergezogen werden.

Am Unterbau der Entwässerungssiele wird seit Ende 1963 gebaut; die Gestaltung des oberen Teils befindet sich noch im Stadium der Untersuchung und des Entwurfs.

Nach der Abdämmung der Lauwerszee soll mit Hilfe der Siele ein bestimmter Wasserstand in dem Becken gehalten werden, der sich mit dem des Entwässerungsgebiets in Groningen deckt. Der friesländische Mahlbusen liegt ungefähr 30 cm höher, so daß die Siele in den Deichen bei *Dokkumer Nieuwe Zijlen* weiter betrieben werden müssen. Weil überdies die bestehenden Seedeiche als Deiche der zweiten Linie unterhalten werden, müssen auch die Siele in Zoutkamp als Stauwerke weiterhin betrieben werden.

Der Wasserstand in dem Becken soll im Sommer höchstens um 5 cm schwanken. In nassen Zeiten im Herbst, Winter und Frühjahr werden die Wasserstände ungefähr innerhalb eines halben Meters nach oben und nach unten schwanken können. Unter außergewöhnlichen Verhältnissen sind Wasserstände von N.A.P. $-0,40$ m bis N.A.P. $-1,30$ m zu erwarten. Das bedeutet, daß ein sehr großer Teil der Lauwerszee ständig trockenfallen wird. Bei einem Wasserstand von N.A.P. $-0,83$ m sind von dem ganzen abgedämmten Gebiet von 9200 ha etwa 2700 ha mit Wasser bedeckt. Die trockenfallenden Flächen sind mit sehr schwachem Gefälle von der Küste nach dem Lauwerszee-Becken hin geneigt. Danach wird die Oberfläche des Binnensees bei N.A.P. $-0,40$ m ungefähr 4100 ha betragen.

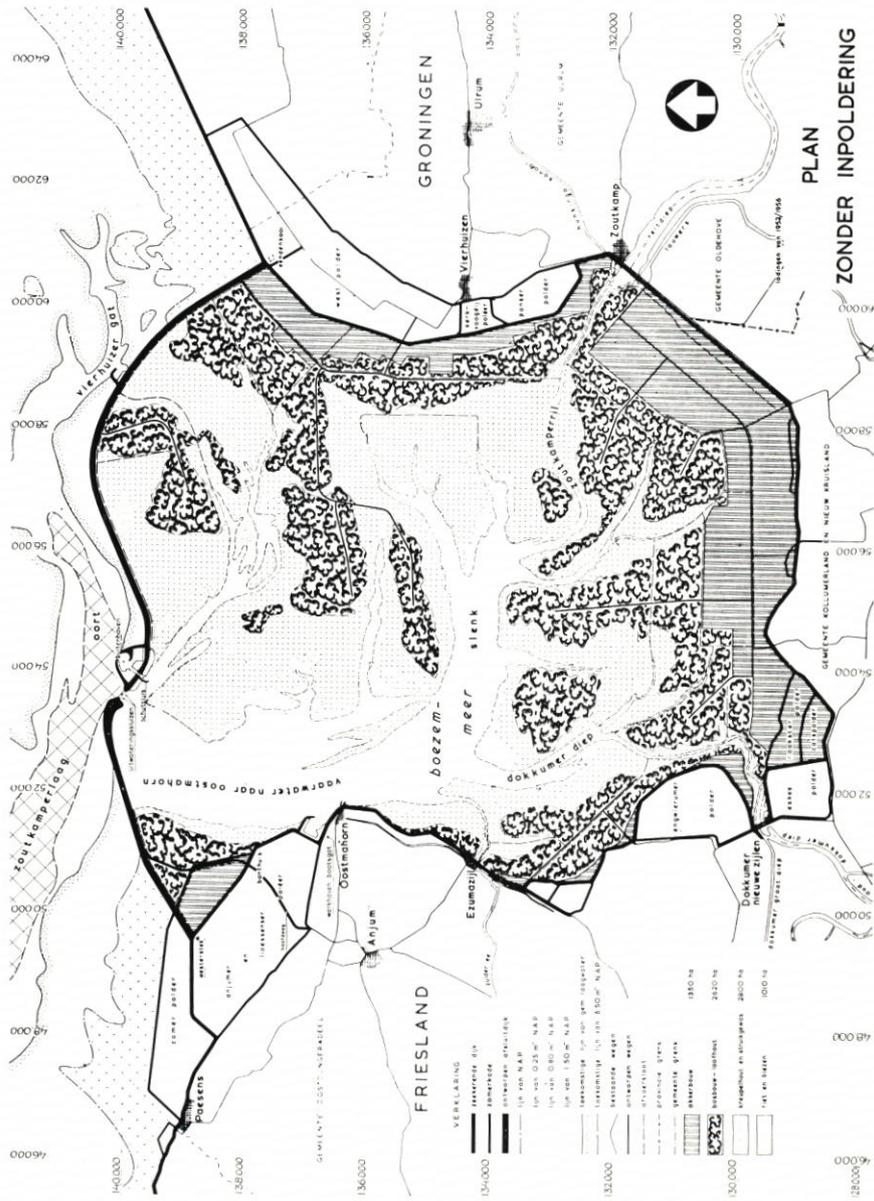


Abb. 27. Eine Möglichkeit für die Verwendung der eingedeichten Flächen in der Lauwerszee ohne Einpolderungen innerhalb des Abschludammes (Anlage zur Denkschrift des Ministers für Verkehr und Wasserwirtschaft vom 25. Januar 1960 für die Zweite Kammer)

Ein großer Teil der ständig trockenfallenden Flächen ist sehr sandig; nur die höherliegenden Gebiete vor der Küste bestehen aus Klei und tonigem Sand (Abb. 31 und 32). Nach wie vor weiß man noch nicht genau, wofür die vielen Tausende Hektar trockenfallenden Landes in der Lauwerszee benutzt werden sollen. Möglichkeiten bietet dieses anziehende und besonders abwechslungsreiche Gebiet genug: An den Ufern des Beckens können ausgedehnte Schilf- und Binsenpflanzungen angelegt werden, auf etwas trockeneren Flächen werden weitgehend feuch-

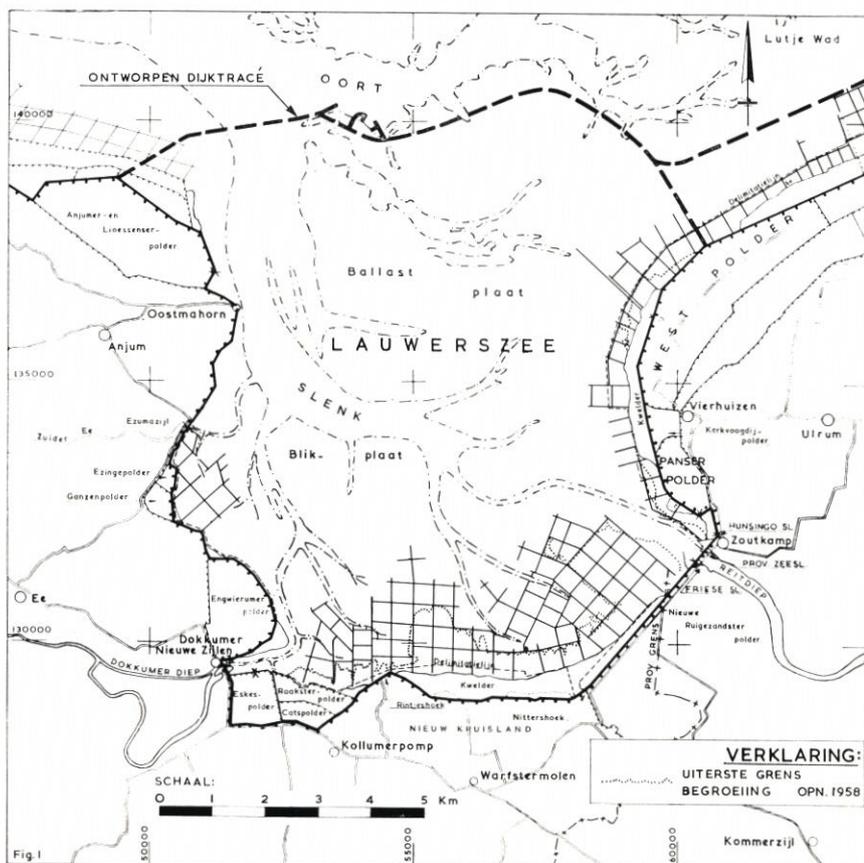


Abb. 29. Anlage von Lahnungsfeldern für Landgewinnung in der Lauwerszee

tigkeitsliebende Pflanzen vorgesehen werden können. Zweifellos werden hier, wenn man der Natur ihren Weg läßt, auch verschiedene Baumarten wie Weiden, Erlen u. dgl. einen Standort finden. Die höhergelegenen Gebiete, die nie unter Wasser kommen werden, können mit Busch bepflanzt werden (Abb. 27). Die örtliche Bodenbeschaffenheit wird zeigen, wieweit hier neben verschiedenen Nadelholzarten auch Laubhölzer ankommen werden. Die schlickhaltigeren Böden entlang der heutigen Küste der Lauwerszee sind für verschiedene landwirtschaftliche Zwecke geeignet (Abb. 29, 31—33).

Zum erstenmal werden hier große Gebiete im Wattgebiet, die ausschließlich aus marinen Sanden bestehen, eingedeicht. Das weicht von der bisher geübten Politik ab, nach der man Flächen erst eindeicht, wenn sie einen genügenden Schlickgehalt aufweisen. Hier bietet sich nun eine einmalige Gelegenheit, in mineralogischer, klimatologischer und morphologischer Hinsicht

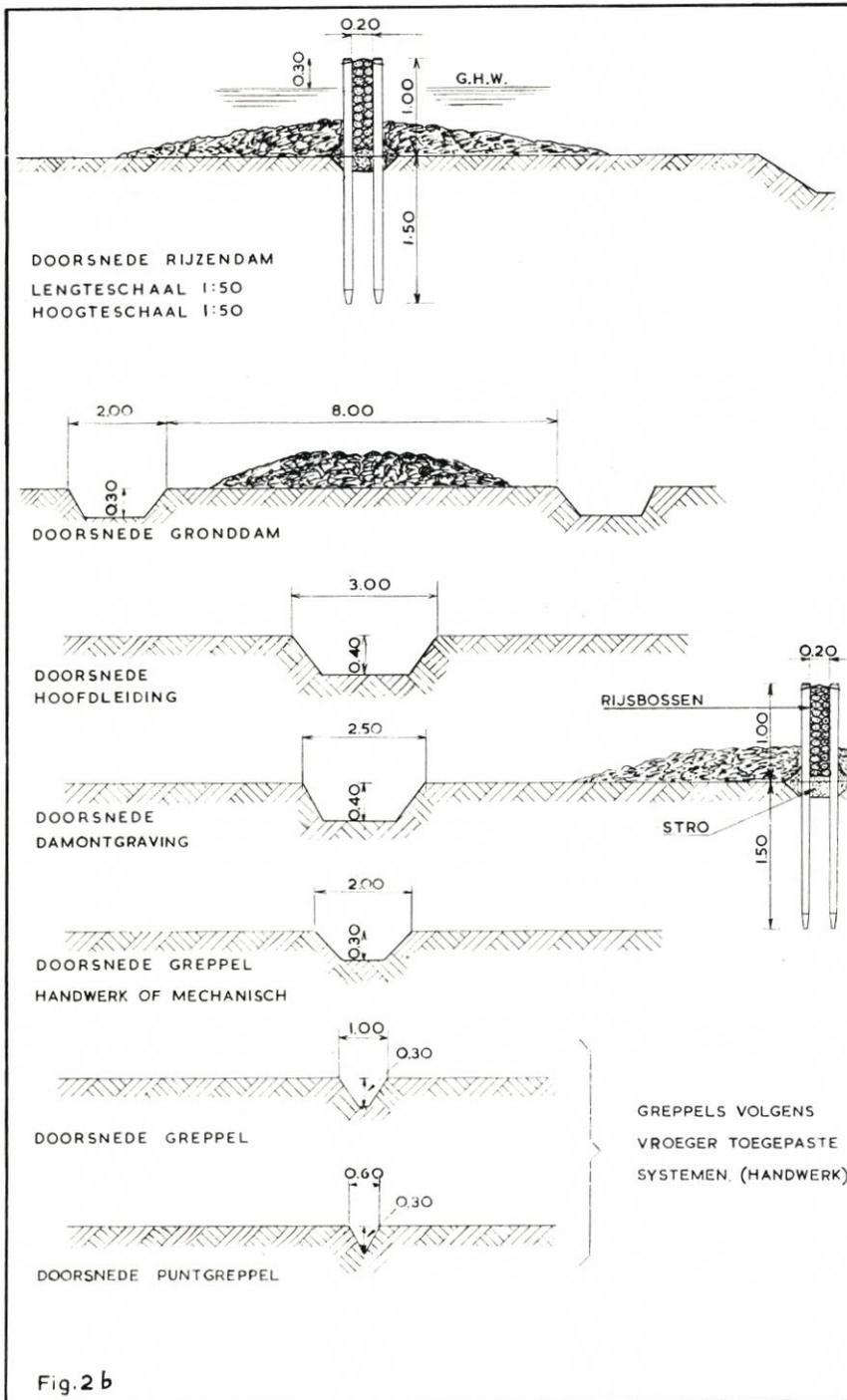


Abb. 30. Lahnungen für Landgewinnung

Erfahrungen auf dem Gebiet der Landwirtschaft und des Forstwesens zu sammeln, die wegen der völlig gleichartigen Verhältnisse im Wattengebiet bei weiteren Einpolderungen im Wattenmeer von großer Bedeutung sein könnten.

Aus dem Vorstehenden dürfte ersichtlich geworden sein, daß die Abdämmung der Lauwerszee vor allem die Sicherung gegen die See und die Verbesserung der Wasserwirtschaft des alten Landes zum Ziel hat. Die Lauwerszee ist ein typisches Wattenmeer. Wenn wir eines Ta-

Abb. 31.
Buschlahnungen umschließen
die Landgewinnungsfelder
in der inneren Bucht der
Lauwerszee (vgl.
Abb. 29 und 30)
phot. E. WOHLBERG



Abb. 32.
Begrüpelte Landgewinnungsfelder am Ostufer der
Lauwerszee mit Horsten von
Spartina Townsendii.
Links im Hintergrund
Oosmahorn
phot. E. WOHLBERG



ges das Wattenmeer, d. h. die Wasserfläche zwischen den westfriesischen Inseln und dem Festland, einpoldern, müssen wir nach Möglichkeit Erfahrungen mit Viehhaltung, Anpflanzungen, Dränagen und Bewässerungen usw. gesammelt haben, um zu wissen, was wirtschaftlich verantwortet werden kann. Bisher sind nur höhere Wattflächen eingedeicht worden und noch keine niedrigen Platen, Priele oder Schlickgebiete. Die Verhältnisse beim IJsselmeer liegen anders als im Wattenmeer. Es ist ein Süßwasserbecken, und das Klima ist wärmer. Nur in der Lauwerszee können wir also Erfahrungen über die beste Nutzung von Wattgründen sammeln.

Durch die Eindeichung der Lauwerszee wird ein rund 9000 ha großes Gebiet von Wasser

und Land gewonnen, das man einer guten Verwendung wird zuführen müssen. Zweifellos wird sich eine solche Verwendung finden lassen, die für die jetzt schon so dichtbevölkerten Niederlande einen großen Ertrag abwirft.

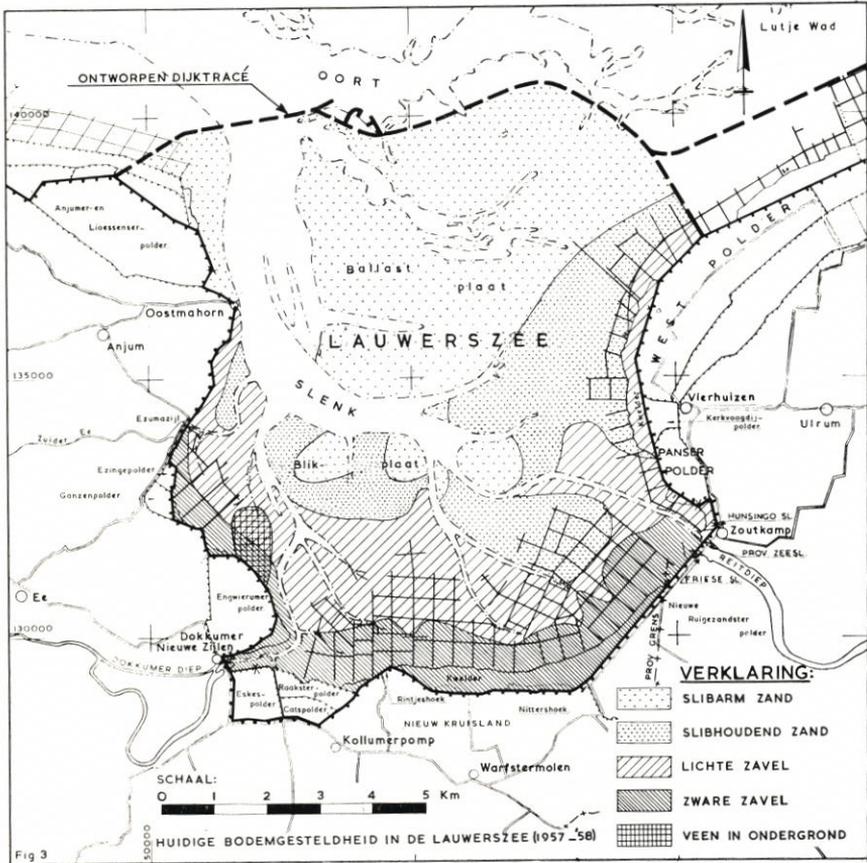


Abb. 33. Bodenarten in der Lauwerszee (1957-58). (slibarm zand = schlickarmer Sand; slibhoudend zand = schlickhaltiger Sand; lichte zavel = leichter Tonboden; zware zavel = schwerer Tonboden; veen in ondergrond = mooriger Untergrund)

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 gewordenen Umfang.

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

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

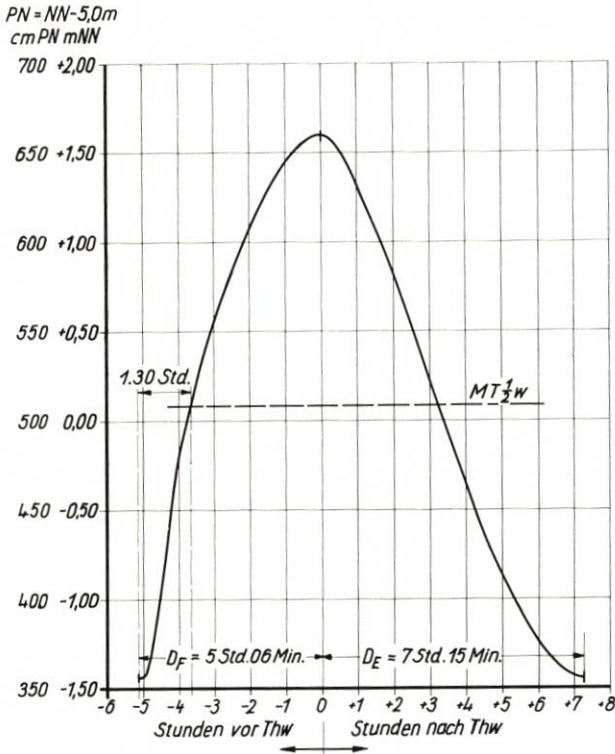


Abb. 1. Mittlere Springtidekurve in Tönning für 1935

Oberfläche wandert, wobei ihre Amplitude exponentiell abnimmt. Die Phasenverschiebung der Sandwelle ist proportional zur Höhe über der Sohle. Die mittlere Sandverteilung, um die sich diese Schwingung vollzieht, befindet sich im Gleichgewicht. Amplituden und Phasen dieser Sandwelle hängen wieder von der Sinkgeschwindigkeit des Sandes und dem Austauschkoefizienten ab. Somit gehört zu jeder Korngröße eine eigene Welle. Der in der Natur auftretende Sandgehalt im Wasser ist das Integral über diese Wellen bei Berücksichtigung der Korngrößen oder Sinkgeschwindigkeitsverteilung. Untersuchungen über Sandwellen lassen sich deshalb mit Aussicht auf Erfolg nur in einem weiten, homogenen Untersuchungsfeld durchführen, in dem möglichst viele Parameter (Korngröße, Tiefe, räumliche Strömungsgeschwindigkeit usw.) konstant sind.

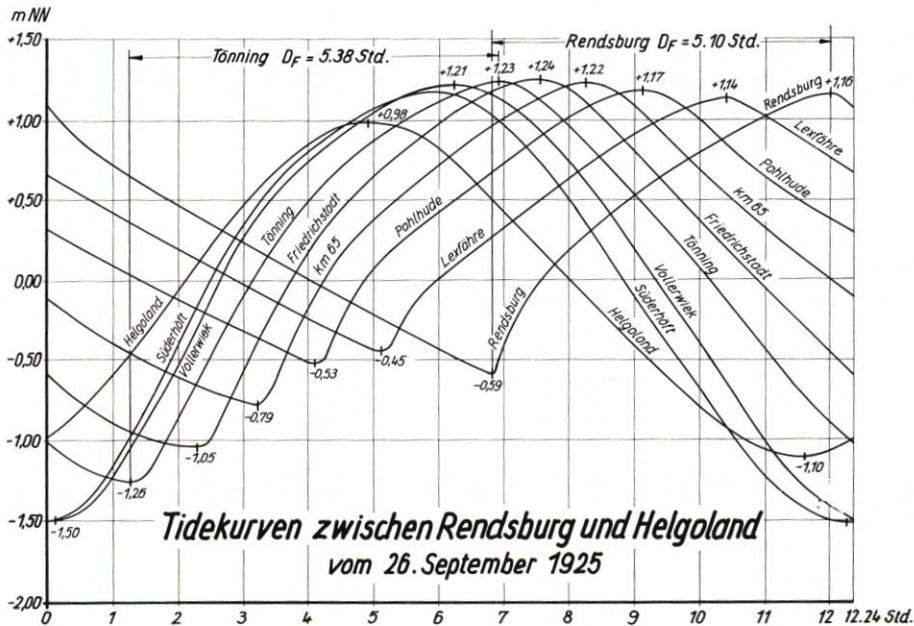


Abb. 2

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 Absperrstelle 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 Absperrstelle 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

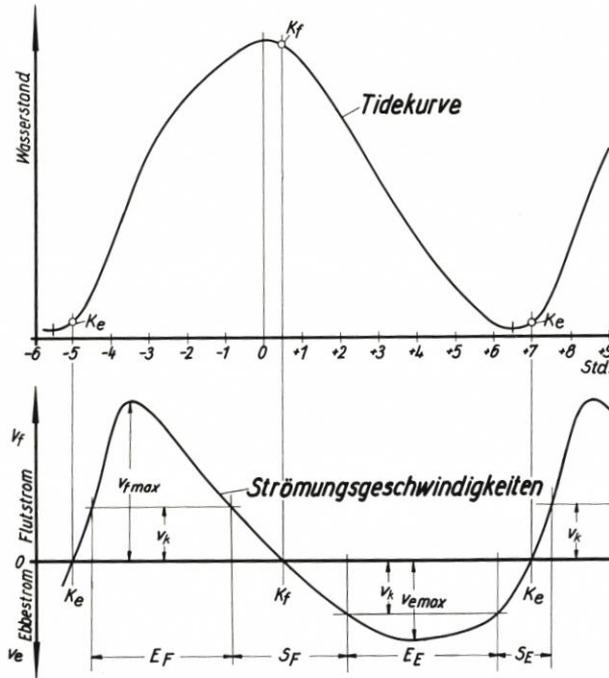


Abb. 3. Tidekurve und Strömungsgeschwindigkeiten in einem Tidefluß (schematisch)

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

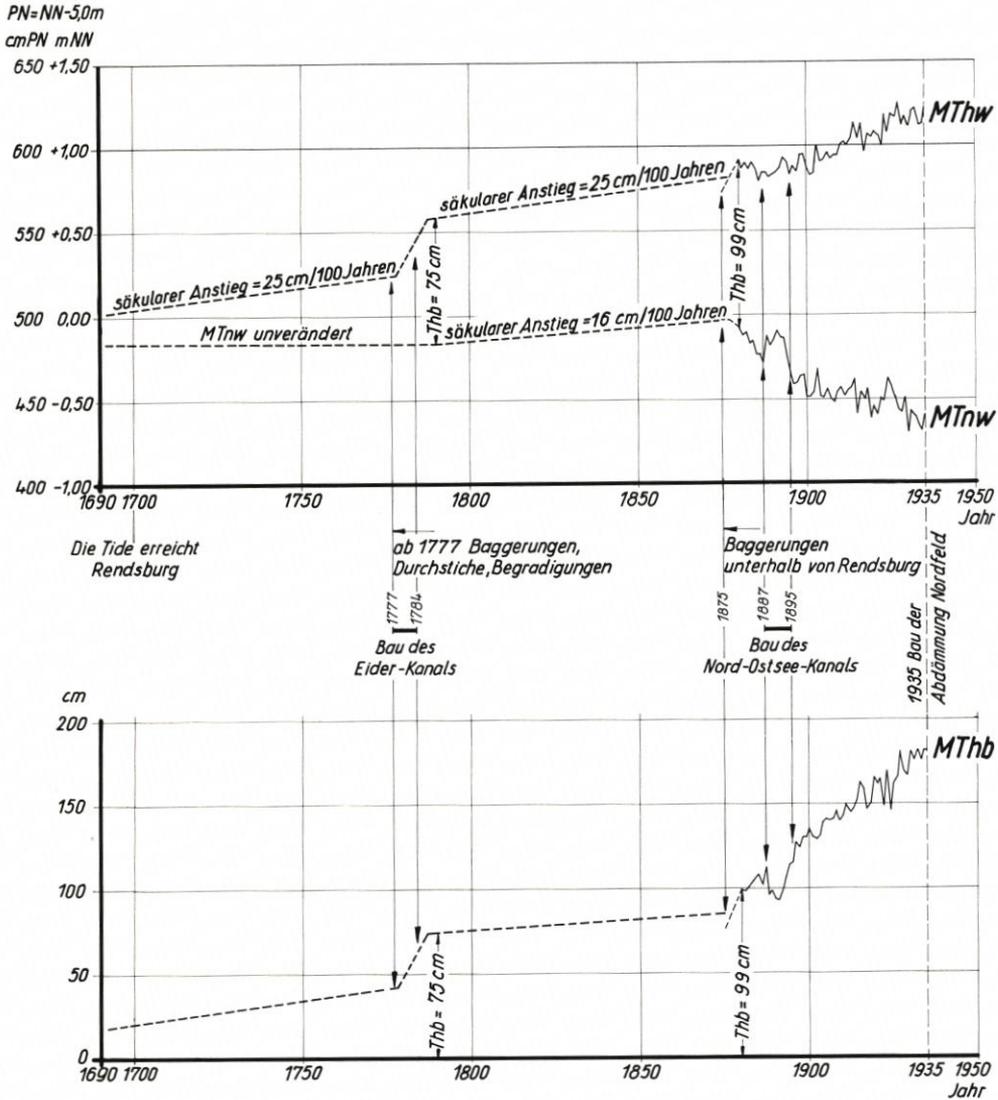


Abb. 4. Entwicklung der Tide bei Rendsburg von 1700 bis 1935

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

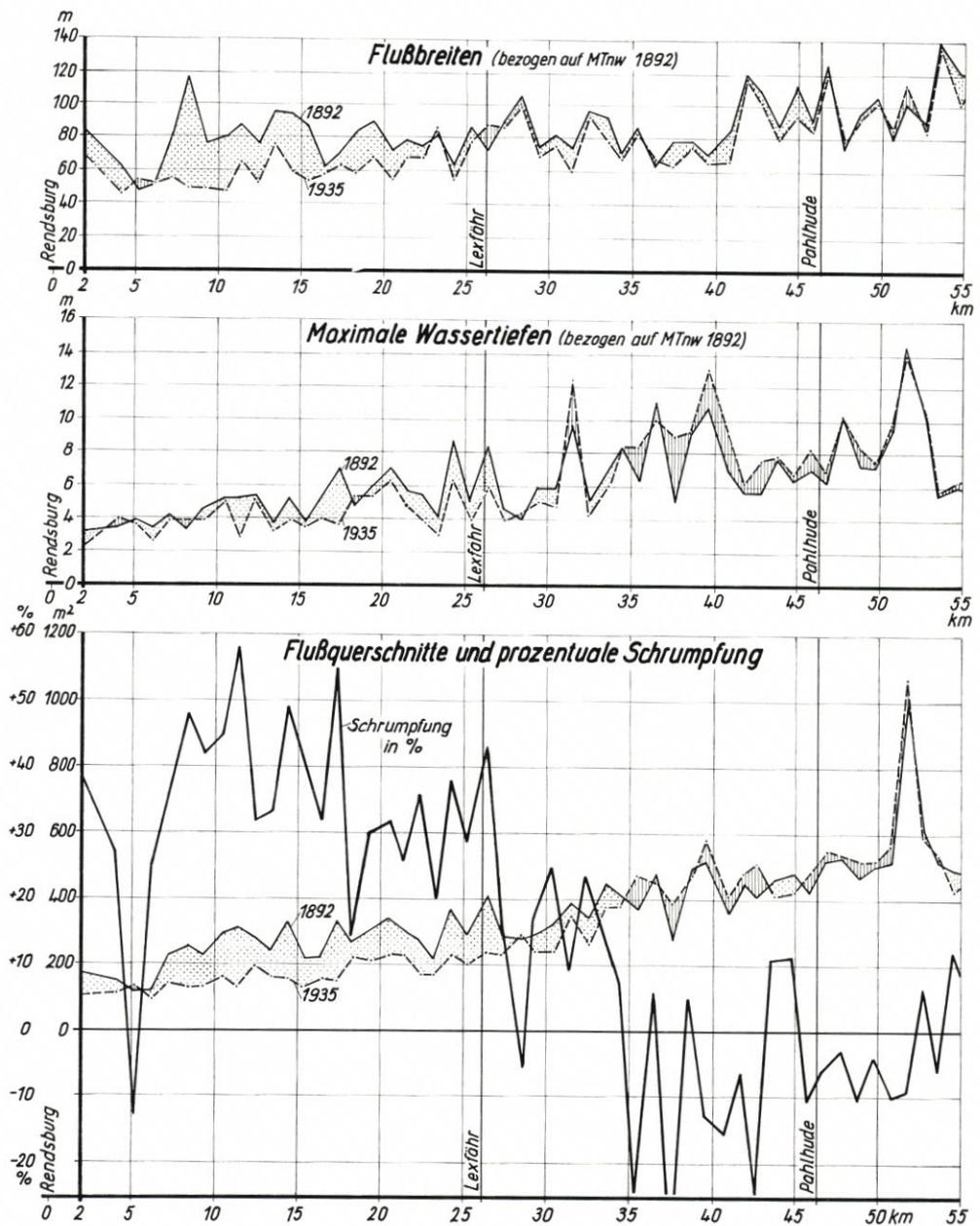


Abb. 5. Vergleich der Profilpeilungen in der Eider von km 2 bis km 55 (1892 und 1935)

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

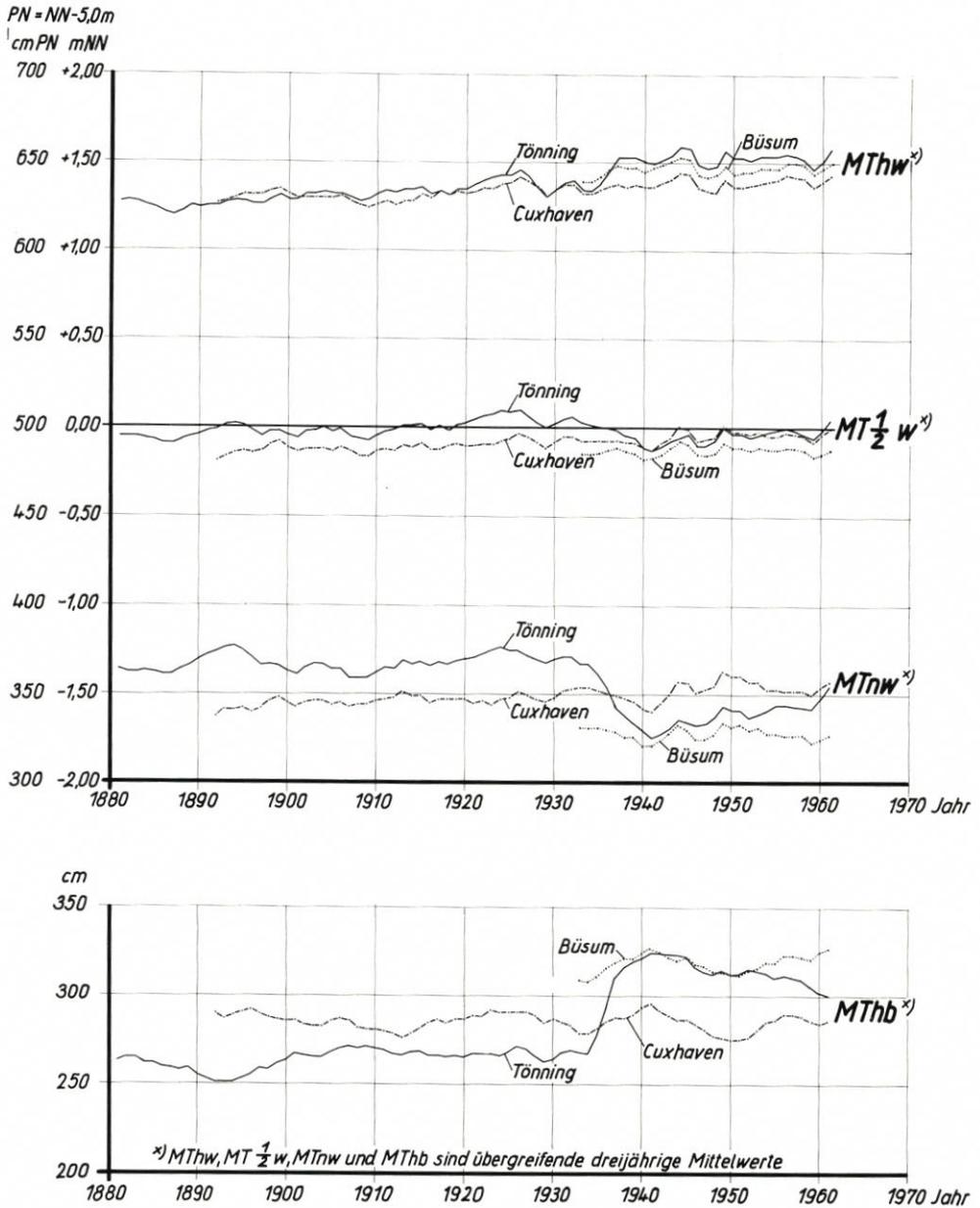


Abb. 6. Entwicklung der Tide an den Pegeln Büsum (seit 1932), Tönning (seit 1881) und Cuxhaven (seit 1892)

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

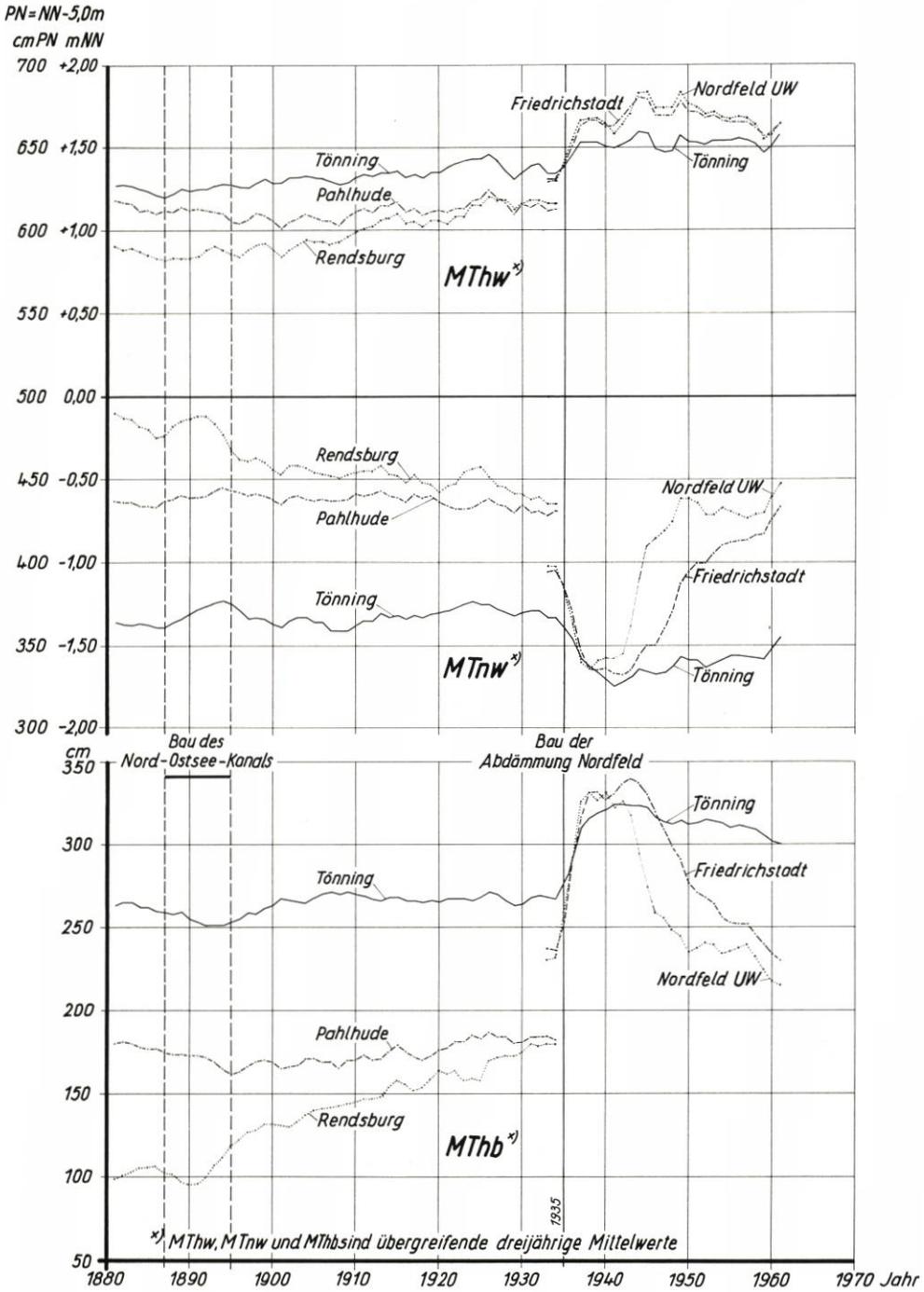


Abb. 7. Entwicklung der Tide an den Eiderpegeln seit 1881

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-

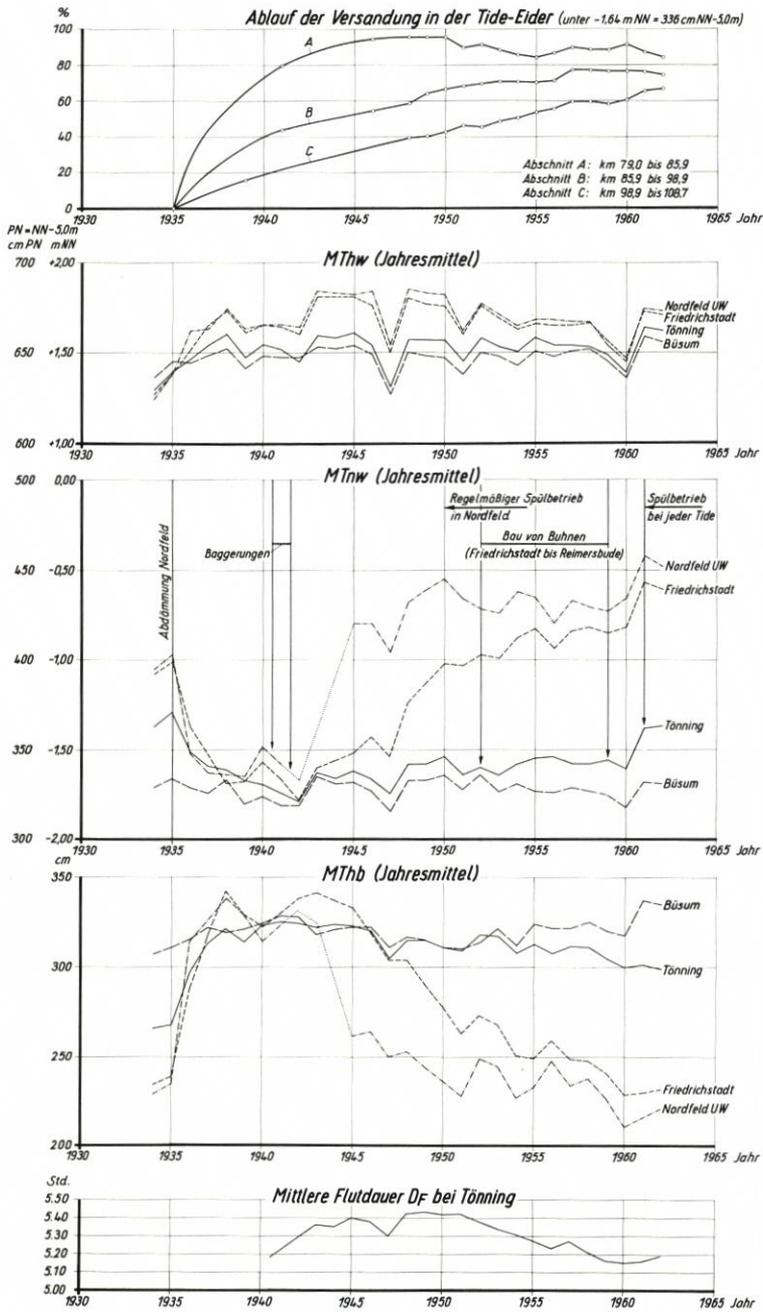


Abb. 8. Entwicklung der Tide unterhalb der Abdämmung bei Nordfeld seit 1934

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-

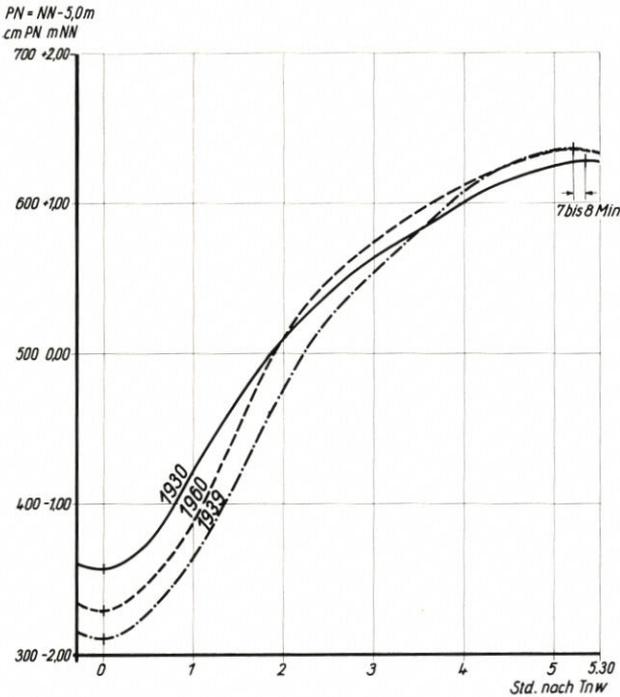


Abb. 9. Flutast der mittleren Tidekurven (Monat Mai)
am Pegel Tönning

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 3½mal 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

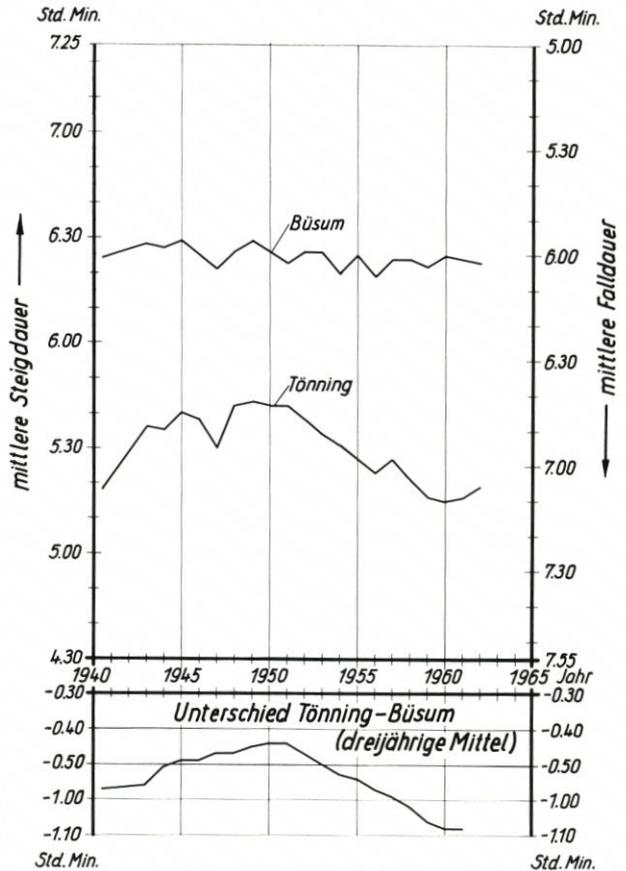


Abb. 10. Mittlere Steig- und Falldauer (Jahresmittel) in Tönning und Büsum

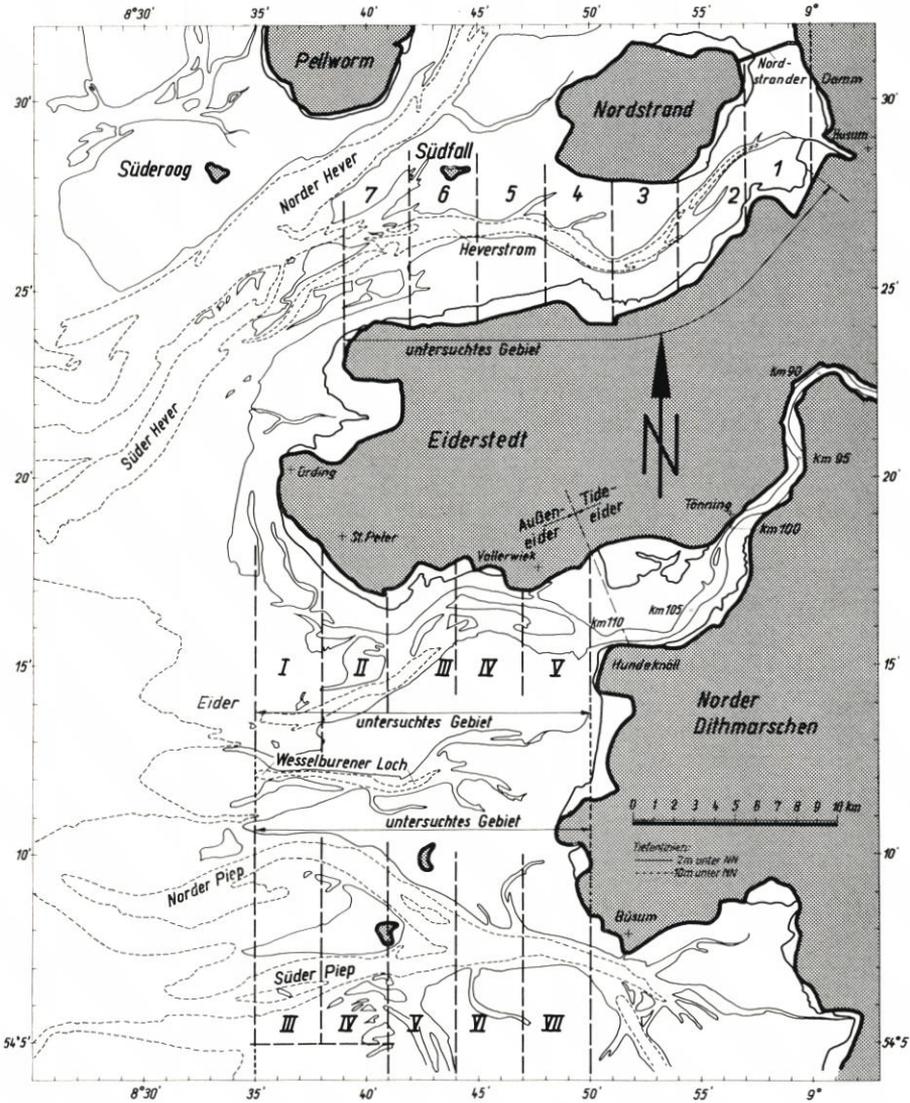


Abb. 11. Übersichtsplan vom Heverstrom bis zur Norder- und Süderpiep

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.

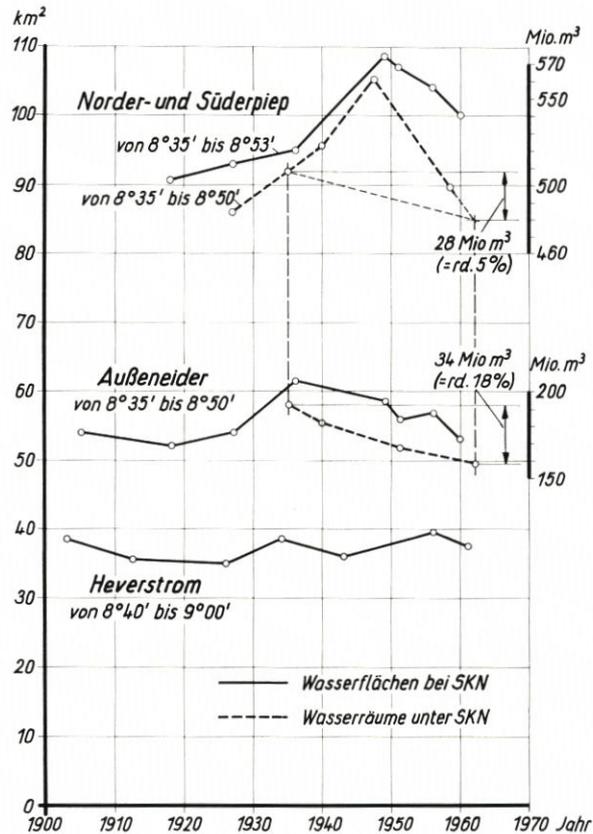


Abb. 12. Wasserflächen und Wasserräume der Norder- und Süderpiep, der Außeneider und des Heverstromes bei SKN

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 Tidewelle 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-

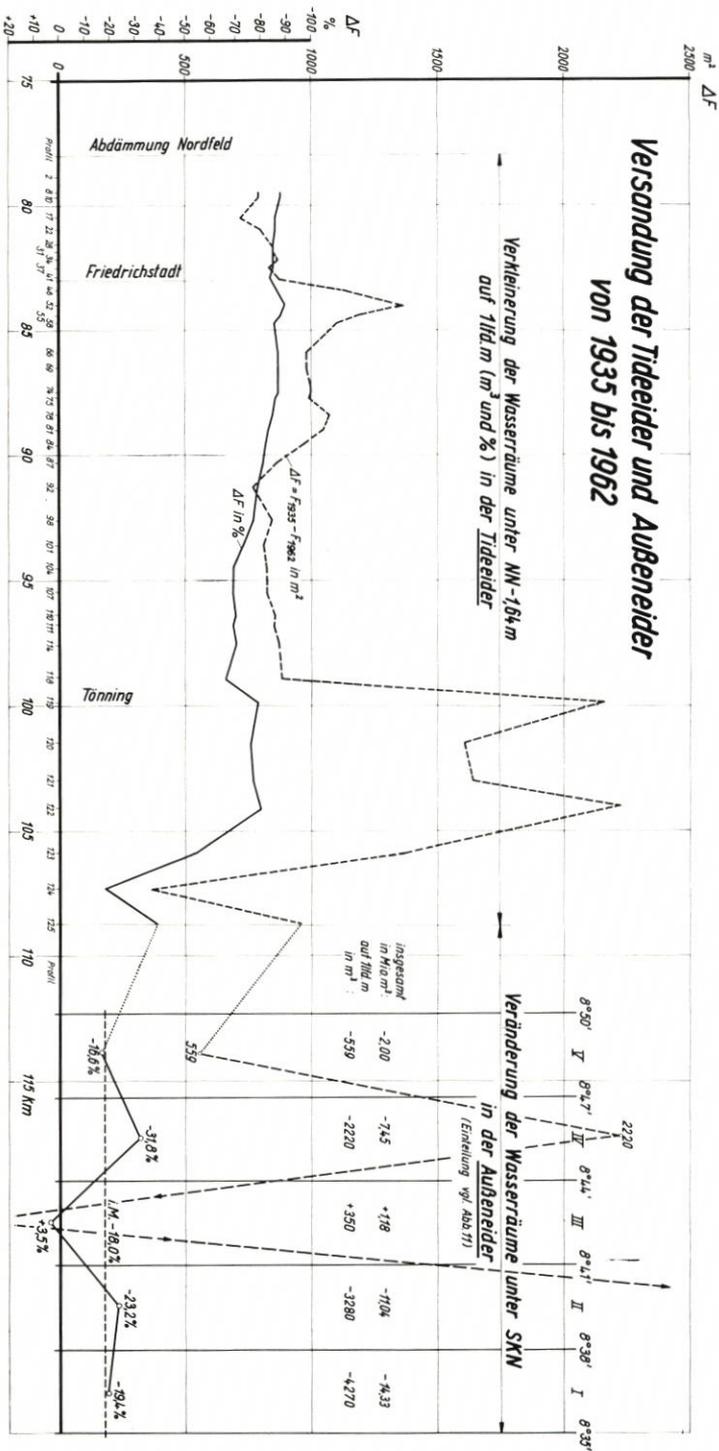


Abb. 13

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 Schrumpffortschritt 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 vor auszusehen, 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

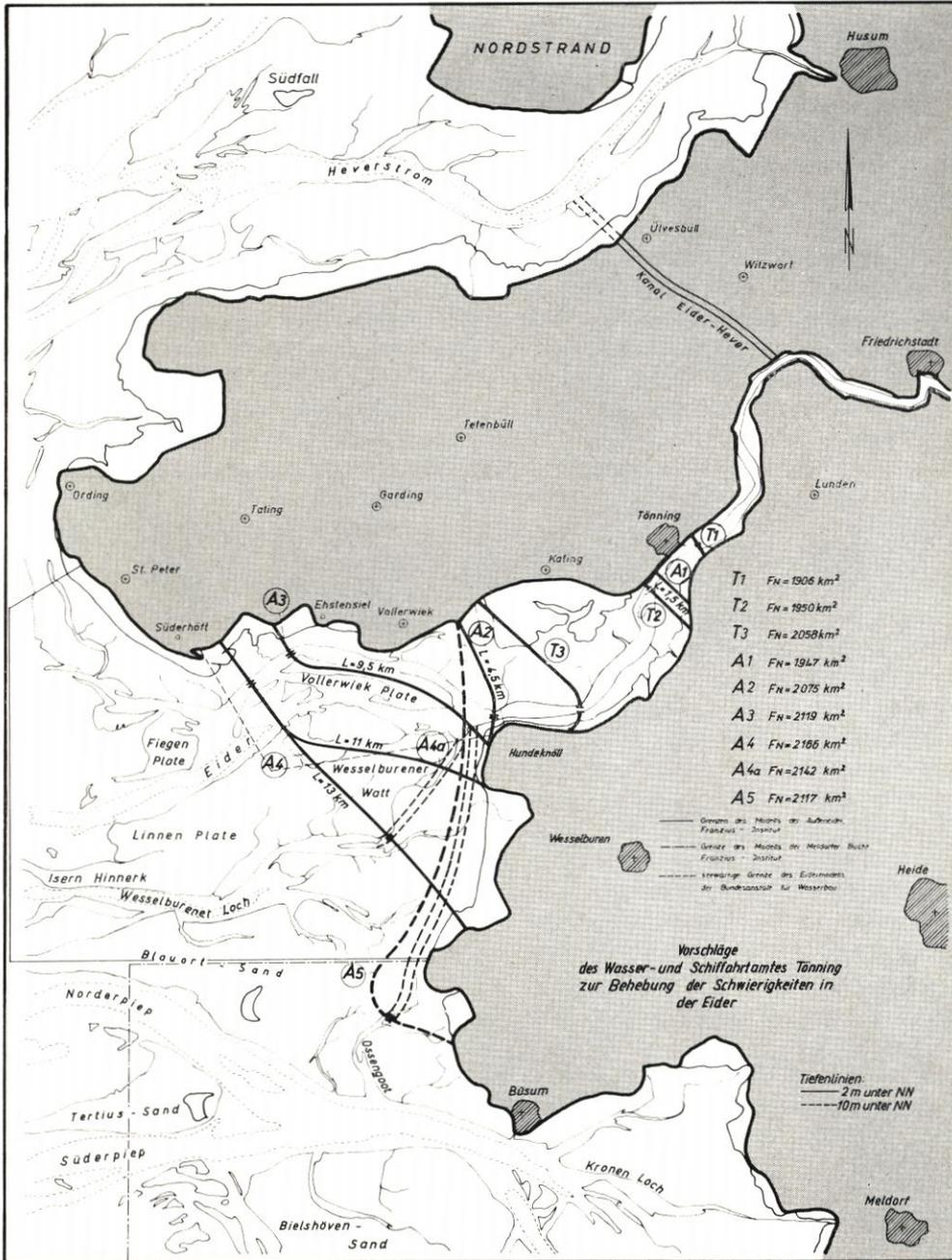


Abb. 14. Vorschläge des Wasser- und Schifffahrtsamtes Tönning zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider

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 Eidgebietes 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 Eidgebiet 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 Eidgebietes 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

Die Grundwasserverhältnisse in den Marschgebieten an der Unterweser zwischen Ochtum und Hunte

Von F. Walther

Gliederung:

I. Einleitung	61
II. Die Veränderungen der Wasserstände in der Unterweser als Folge des Ausbaues	62
III. Der Zusammenhang zwischen Flußwasserständen und Grundwasserständen	67
IV. Die Entwässerungsverhältnisse im Marschgebiet von der Ochtum bis zur Hunte	68
V. Die Veränderungen der Grundwasserstände im Gebiet der unteren Ochtum	71
VI. Die Veränderungen der Grundwasserstände in Stedingen	74
VII. Die Umstellung der Entwässerung in Stedingen durch Verbesserung des Sielzuges und Bau von Schöpfwerken	80
VIII. Zusammenfassung	83
Schriftenverzeichnis	84

I. Einleitung

Für die tief gelegenen Marschgebiete an der deutschen Nordseeküste und im Tidebereich der Strommündungen ist neben einem ausreichenden Deichschutz das Vorhandensein einer guten Entwässerung die Voraussetzung für eine möglichst günstige landwirtschaftliche Nutzung. Große Flächen der Marschgebiete liegen tiefer als das mittlere Tidehochwasser (MThw), d. h. sie würden ohne Deichschutz bei mehr als der Hälfte aller Tiden überflutet werden oder der Wasserstand in den Gräben würde so hoch, daß eine landwirtschaftliche Nutzung nicht möglich wäre.

Diese Gebiete können nur durch Siele oder, in zunehmendem Maße, durch Schöpfwerke ausreichend entwässert werden. Schon geringe Schwankungen des Grundwasserstandes können für die Nutzung von Bedeutung sein.

Im Wasserkreislauf gehen vom gesamten Niederschlag (für das deutsche Küstengebiet 700 bis 800 mm Niederschlagshöhe jährlich) etwa die Hälfte als Boden-, Oberflächen- und Pflanzenverdunstung in die Atmosphäre zurück, etwa 37—38% fließen den Oberflächengewässern und nur etwa 12,5% dem Grundwasser zu.

Die Aufnahmefähigkeit des Untergrundes ist je nach seiner Struktur sehr verschieden. Sie reicht von den undurchlässigen Gesteinsschichten über die unter Druck oder durch chemische Vorgänge verdichteten und undurchlässigen Tonschichten bis zu stark durchlässigen groben Sand- und Kiesschichten und sehr aufnahmefähigen Torfschichten. Wo der Untergrund genügend durchlässig ist, kann Grundwasser aufgenommen werden. Das Grundwasser kann steigen oder fallen und sich auch in horizontaler Richtung bewegen, d. h. fließen. Wo Wasser fließt, muß Gefälle vorhanden sein. Es ist auch bekannt, daß je nach der vorhandenen Bodenschichtung der Grundwasserspiegel ein Gefälle aufweisen kann und somit im Untergrund auch ein Abfluß von Grundwasser in die Vorfluter (oder auch umgekehrt ein Zustrom von Wasser aus den Vorflutern zum Grundwasser) eintreten kann.

Ein solcher Austausch zwischen Grundwasser und Flußwasser ist, abgesehen von der klimabhängigen und daher wechselnden Zufuhr der Niederschlagsmengen zum Grundwasser, von den wechselnden Wasserständen in den Flüssen selbst abhängig. Hierbei ist wichtig, wie groß

die Änderung der Wasserstände in den Flüssen ist und ob sich der Wechsel in längeren oder kürzeren Zeiträumen vollzieht.

Als Folge der seit 1887 ausgeführten Fahrwasserverbesserungen der Unterweser ist eine gewisse Beeinflussung der Grundwasserstände in den an die Unterweser grenzenden Ufergebieten eingetreten. Die Entwicklung der Grundwasserstände ist seit Jahrzehnten durch umfangreiche Grundwasserbeobachtungen verfolgt worden (GWINNER [4]). Außerdem sind eine größere Anzahl hydrogeologischer, bodenkundlicher und pflanzensoziologischer Gutachten (vgl. Schriftums-Verzeichnis) erstattet worden, in denen zu den von den Interessenten befürchteten landwirtschaftlichen Schäden infolge Senkung des Grundwasserstandes Stellung genommen wird.

In der vorliegenden Ausarbeitung wird die Entwicklung der Grundwasser- und Entwässerungsverhältnisse für das Gebiet der unteren Ochtum und von Stedingen geschildert.

II. Die Veränderungen der Wasserstände in der Unterweser als Folge des Ausbaues

Das Fahrwasser der Unterweser ist seit dem Jahre 1887 stufenweise für den Verkehr der laufend an Größe zunehmenden Seeschiffe ausgebaut worden. Die erste „Korrektion“ von FRANZIUS ermöglichte den Verkehr von Seeschiffen bis zu 5 m Tiefgang. Heute können Seeschiffe mit 8,7 m Tiefgang (und bei guten Tiden bis 9,60 m Tiefgang) bis Bremen verkehren.

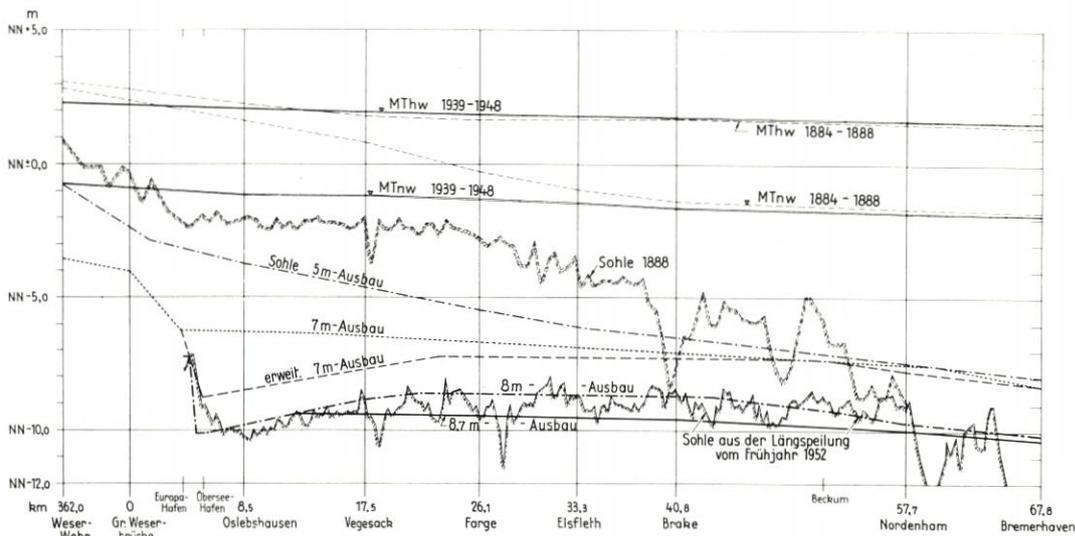


Abb. 1. Längsschnitt der Unterweser mit Lage der Flußsohle

Durch diese Ausbaumaßnahmen sind das Flußbett der Unterweser und als Folge davon auch die Tideverhältnisse wesentlich verändert worden. Der Längsschnitt der Unterweser (Abb. 1) zeigt die großen Veränderungen in der Sohlentiefe. Vom ursprünglichen Zustand bis heute ist, namentlich im oberen Abschnitt der Unterweser, eine Vertiefung der Sohlentiefe von 6—8 m eingetreten. Hand in Hand damit ging auch eine gewisse Verbreiterung des Flußbettes.

Dies hatte zur Folge, daß der Flut das Eindringen erleichtert wurde. Die Tidehübe vergrößerten sich wesentlich (bei Bremen von 0,20 auf 3,2 m), während sie sich bei Bremerhaven nur geringfügig geändert haben. Diese Vergrößerung des Thb macht sich in der Hauptsache durch eine Absenkung des Tnw bemerkbar, die seit 1887 bei Bremen mehr als 3 m beträgt.

Einen anschaulichen Vergleich des früheren und des jetzigen Zustandes der Tideverhältnisse bei mittleren Tiden zeigt Abbildung 2 für 5 Pegel. Hierbei ist zu beachten, daß die Ab-

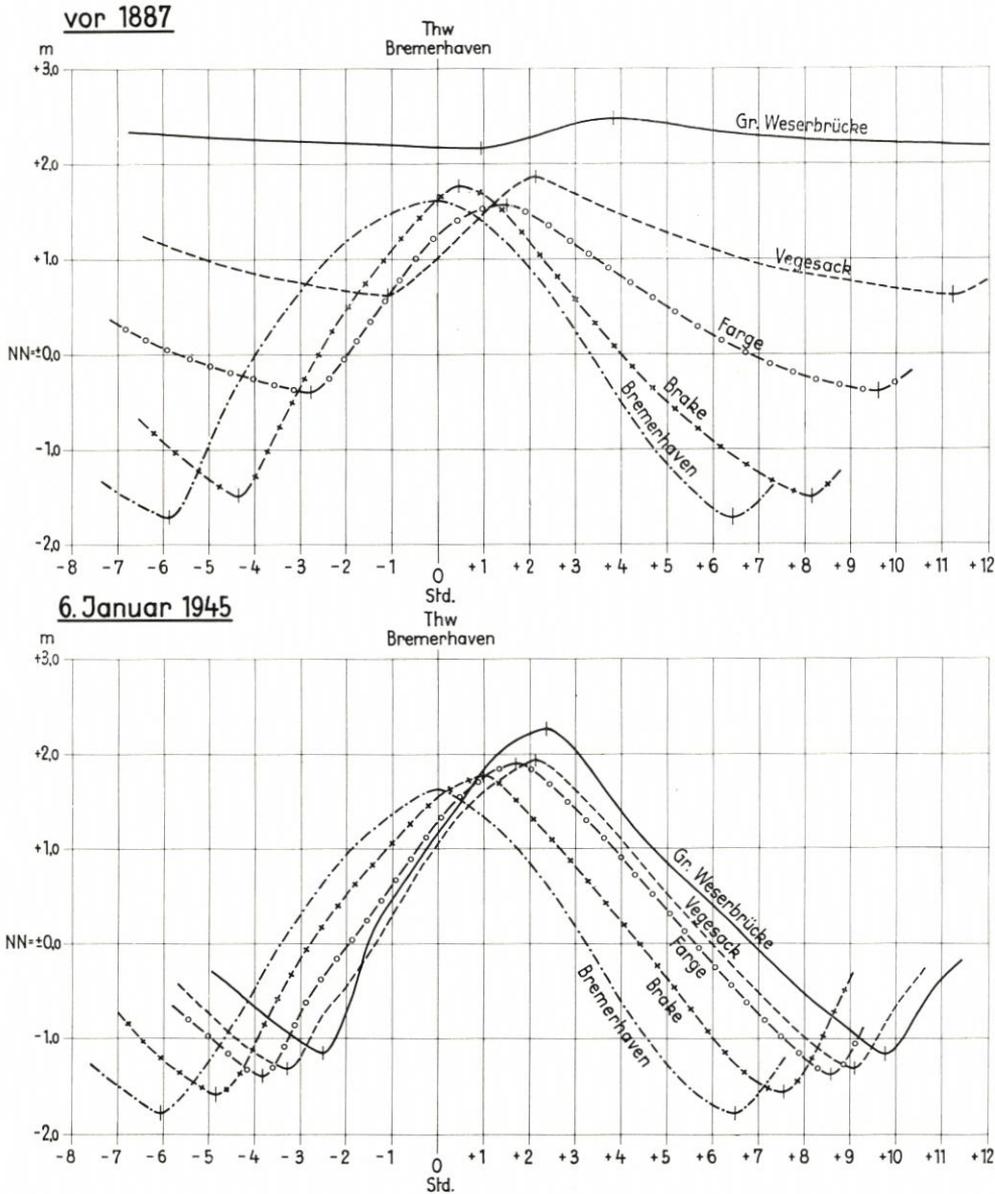


Abb. 2. Tidekurven der Unterweser (1887 und 1945)

senkungen des Tnw in dem hier besonders interessierenden Raum Vegesack—Farge schon wesentlich geringer gewesen sind als in Bremen selbst.

In Abbildung 3 ist dargestellt, wie sich die geschilderten Veränderungen der Tideverhältnisse seit 1880 im zeitlichen Ablauf vollzogen haben. Es sind hier die übergreifenden 5jährigen Mittelwerte aufgetragen. Die Darstellung zeigt eine verhältnismäßig geringe Veränderung der MThw und das stufenweise Absinken der MTnw. Hierbei ist der Einfluß der einzelnen Ausbaustufen z. T. sehr gut erkennbar. Eine Veränderung der MThb zeigt ein ähnliches Bild. Seit etwa 1930 (Beendigung des 8-m-Ausbaues) sind die Tidenhübe in Bremen fast ebenso groß wie in Bremerhaven und haben sich nur wenig verändert.

Es ist auch erkennbar, daß die Absenkungen des Tnw im Stromabschnitt oberhalb der Hunttemündung vor dem Jahre 1920 (d. h. vor dem 8-m-Ausbau der Unterweser) wesentlich größer gewesen sind als von 1920 bis heute. Diese Zusammenhänge werden noch besonders

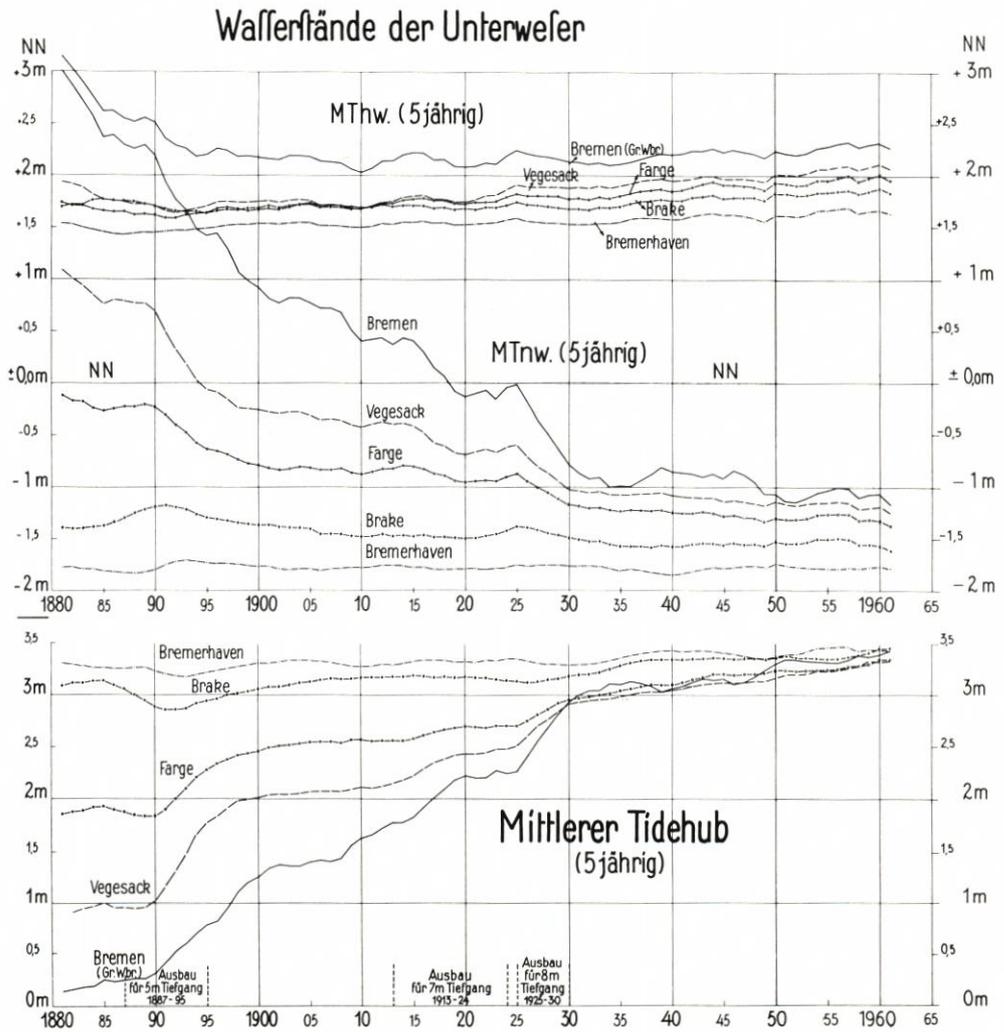


Abb. 3. Wasserstände der Unterweser und mittlere Tidehübe (5jährig) von 1880 bis 1961

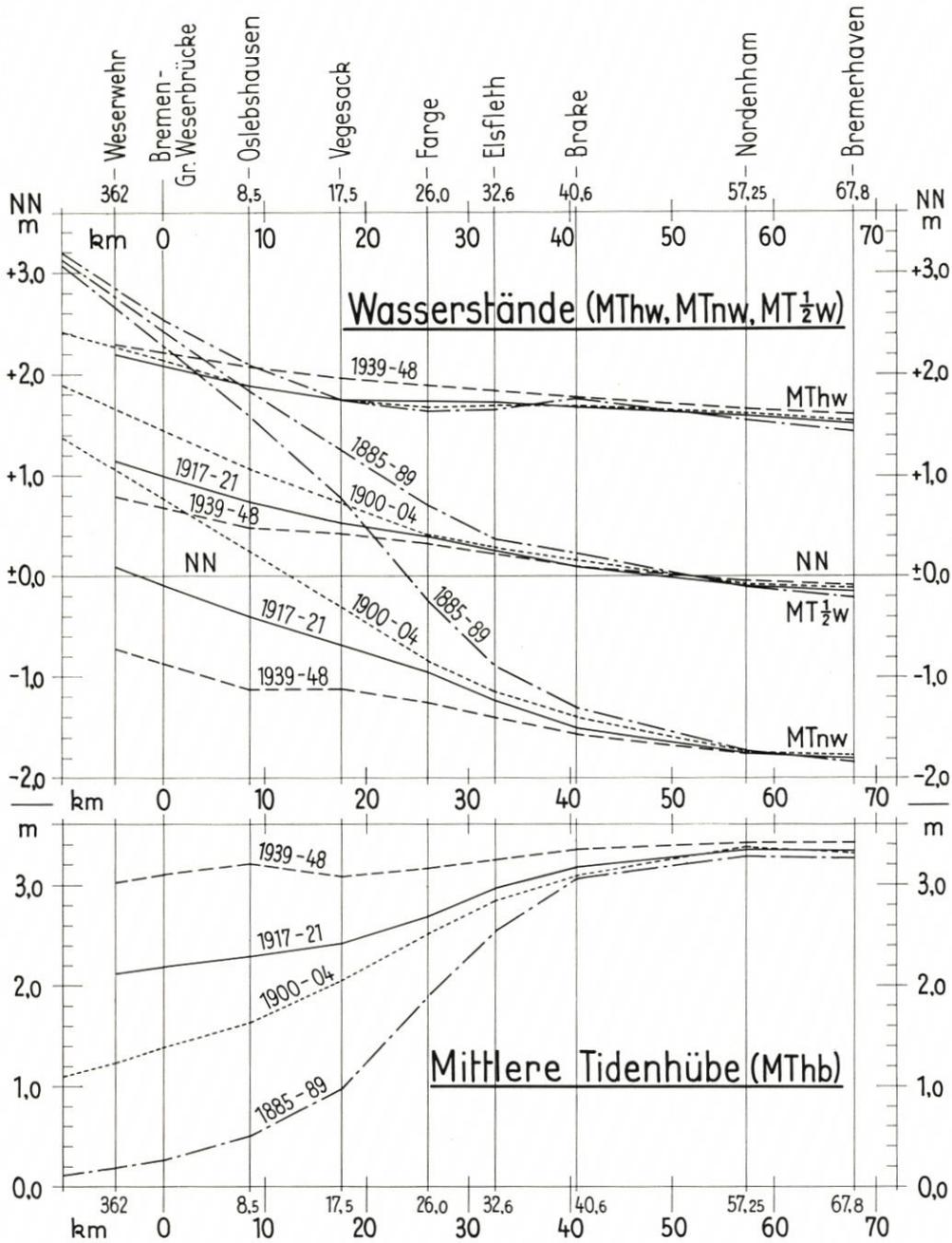


Abb. 4. Mittelwerte der Wasserstände und Tidehübe in der Unterweser für verschiedene Jahresgruppen seit 1885

verdeutlicht durch die Abbildung 4, in der für verschiedene Jahresgruppen seit 1885 im Längsschnitt der Unterweser die MThw, MTnw, T $\frac{1}{2}$ w und MThb eingetragen sind. Das T $\frac{1}{2}$ w ist für die Ausbildung der Grundwasserstände von besonderer Bedeutung; daher sind in Abbil-

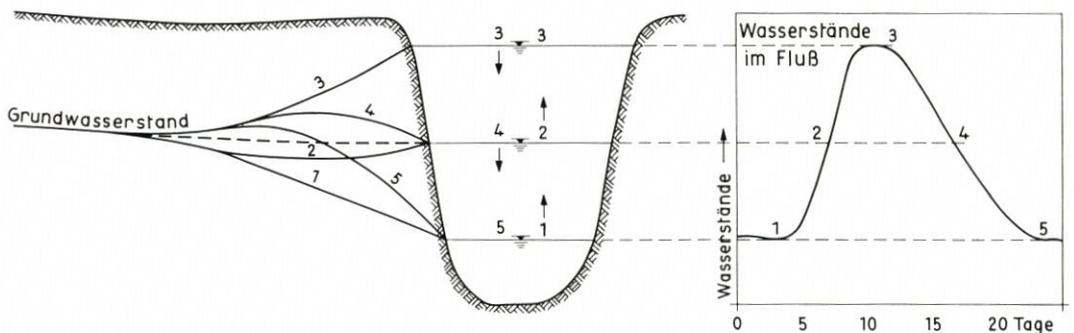
dung 4 auch die $MT^{1/2w}$ eingetragen. Da die MThw nur wenig verändert sind, beträgt die Absenkung der $MT^{1/2w}$ weniger als die Hälfte der Absenkung der MTnw.

Im einzelnen ergeben sich folgende Werte für die Absenkung der Wasserstände (in cm) seit Beginn der Unterweserkorrektion:

Zeitraum:	Pegel							
	Gr. Weserbrücke		Vege sack		Farge		Elsfleth	
	MTnw	$MT^{1/2w}$	MTnw	$MT^{1/2w}$	MTnw	$MT^{1/2w}$	MTnw	$MT^{1/2w}$
1886/90—1917/21	233	138	147	74	64	28	33	13
1917/21—1951/55	102	44	49	10	35	8	19	1
Zusammen:	335	182	196	84	99	36	52	14

Man erkennt, daß die für Stedingen in Betracht kommenden Absenkungen der $MT^{1/2w}$ der Weser in Vege sack und Farge nur 84 bzw. 36 cm betragen haben. Von diesen Werten liegt der weitaus größte Anteil vor 1920.

Fluß im Binnenland:



Tidefluß (Elbe bei Cuxhaven):

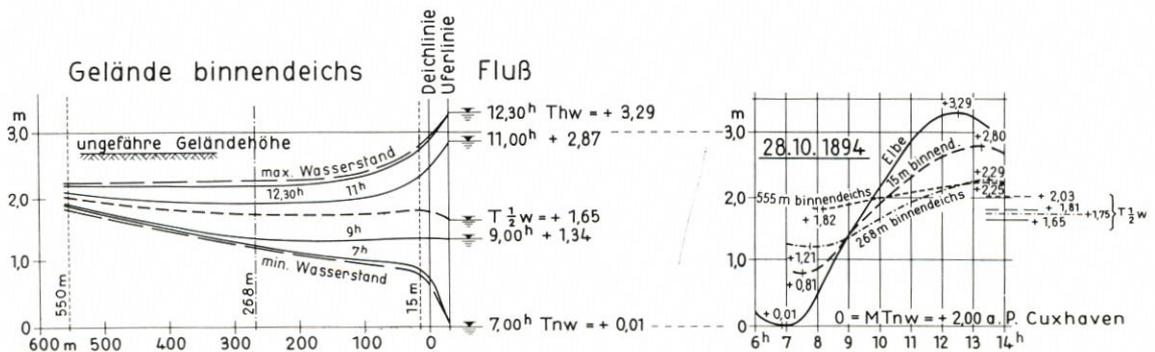


Abb. 5. Abhängigkeit der Grundwasserstände von den Flußwasserständen

III. Der Zusammenhang zwischen Flußwasserständen und Grundwasserständen

Der Austausch zwischen Grundwasser und Flußwasser und die dadurch bedingten Schwankungen der Grundwasserstände vollziehen sich an einem Tidefluß in anderer Weise als an einem Binnenlandfluß. Diese Zusammenhänge sind in Abb. 5 für zwei Beispiele dargestellt, zunächst in schematischer Weise für einen Fluß im Binnenland, in dem eine Hochwasserwelle von etwa 2wöchiger Dauer abläuft. Hierbei steigt der Wasserspiegel aus der niedrigsten Lage 1 über 2 zum höchsten Wasserstand 3 und fällt wieder über 4 bis zur Ausgangslage 5 (entspr. 1) zurück. In dieser relativ langen Zeit können die Grundwasserstände — wie links dargestellt — den wechselnden Wasserständen folgen. Hierbei findet der Einfluß der Flußwasserstände auf das Grundwasser je nach dem Aufbau des Untergrundes in einer gewissen Entfernung vom Flußufer überhaupt sein Ende; diese Entfernung kann bis zu mehreren Kilometern betragen.

In dem zweiten dargestellten Beispiel in Abbildung 5 handelt es sich um das Ufer eines Tideflusses, und zwar die Tide vom 28. Okt. 1894 in der Elbe bei Cuxhaven (11). Dargestellt ist nur der Flutast der Tidekurve sowie die gleichzeitige Wasserstandsbewegung in 3 Grundwasser-Beobachtungsbrunnen, dessen weitester 555 m vom Elbufer entfernt lag. Hier handelt es sich im Gegensatz zum ersten Beispiel um eine Wasserstandsänderung von über 3,00 m, die aber in einer Tide, d. h. in der kurzen Dauer von 12 Std. 25 Min. abläuft. Es ist erkennbar, daß alle drei Grundwasserpegel noch von den Schwankungen der einzelnen Tide abhängig sind, daß aber die Amplituden des Wasserstandswechsels um so mehr gedämpft sind, je weiter der Pegel vom Flußufer entfernt ist. Dieses zeigt folgender Vergleich:

Entfernung vom Flußufer: m	Größe des Tidehubes (Thb): m	Anteil vom Thb im Fluß:
Elbe = 0	3,28	100 %
15	1,99	61 %
268	1,08	33 %
555	0,43	13 %

Man kann annehmen, daß in diesem Beispiel sich bei einer Entfernung von etwa 1000 m vom Ufer der Einfluß der täglichen Tide nicht mehr bemerkbar gemacht hat.

Es ist ferner auch erkennbar, daß die Scheitelpunkte der Grundwasserschwankungen gegenüber dem T_{nw} und T_{hw} im Fluß bis zu etwa 1 Std. verspätet liegen.

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Grundwasserbewegung an Tideflüssen ist noch das Mittelwasser der Tide, an dessen Stelle zweckmäßig das Tidehalbwasser gesetzt wird, da dieses leicht zu ermitteln ist und vom Tidemittelwasser nur wenig abweicht. In Abbildung 5 ist erkennbar, daß die $T^{1/2w}$ der Grundwasserpegel durchweg etwas höher liegen als das $T^{1/2w}$ am Fluß. Die Verbindungslinie der $T^{1/2w}$ steigt, im ganzen gesehen, landeinwärts an, wie die linke Darstellung für den Tidefluß zeigt.

Hieraus kann eine gewisse Abhängigkeit der mittleren Grundwasserstände vom $T^{1/2w}$ der Tideflüsse gefolgert werden. Das zeigt auch ein Beispiel von Grundwasserbeobachtungen im Hafen Norderney, die im Jahre 1931 durchgeführt wurden (13).

Abbildung 6 zeigt diese Zusammenhänge. Da die beiden Brunnen zur Beobachtung des Wasserstandswechsels dicht hinter einer Spundwand gesetzt waren, deren dämpfende Wirkung sehr groß war, waren einmal die Amplituden des Wasserstandswechsels schon sehr gering und

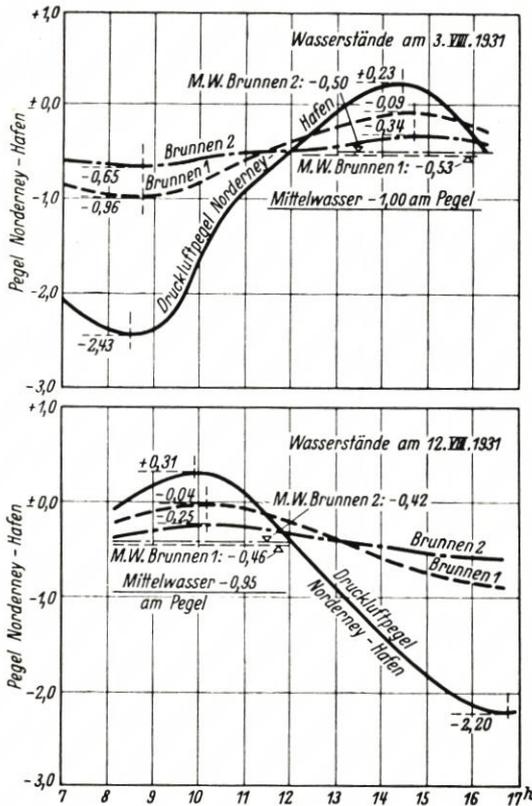


Abb. 6. Auftragung der Wasserstandsschwankungen am Pegel Norderney-Hafen und in den Grundwasser-Beobachtungsbrunnen (aus Bautechnik 1932, vgl. Schriftenverzeichnis [13])

Ochtum bis zur Hunte. Das Gebiet der Delmenhorster Wasseracht wird durch die Ochtum entwässert. Das Gebiet von Stedingen zwischen Ochtum und Hunte wird durch einen alten Wasserarm, der Ollen, durchzogen, die aus der Gegend von Altenesch nach Berne verläuft und dort in den Wasserlauf der Berne mündet.

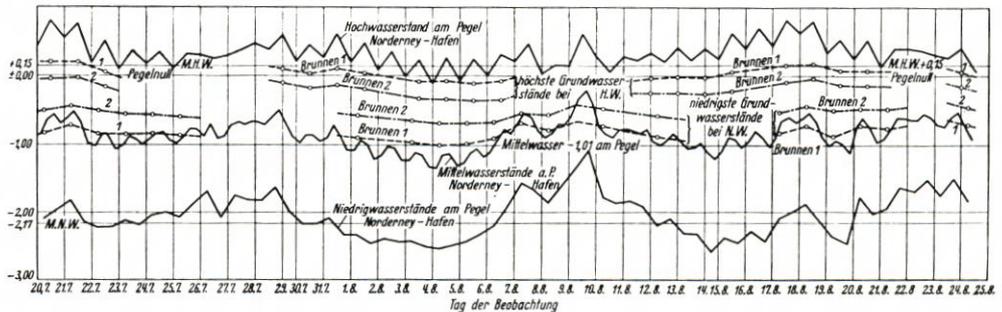


Abb. 7. Auftragung der M_{Thw} , $M_{T^{1/2w}}$ und M_{Tnw} am Druckluftpegel Norderney-Hafen und der Höchst- und Tiefstwerte der Grundwasserstände vom 20. 7. bis 25. 8. 1931 (aus Bautechnik 1931, vgl. Schriftenverzeichnis [13])

lag zum anderen das $T^{1/2w}$ im dargestellten Falle schon etwa 0,50 m über dem $T^{1/2w}$ des Hafens.

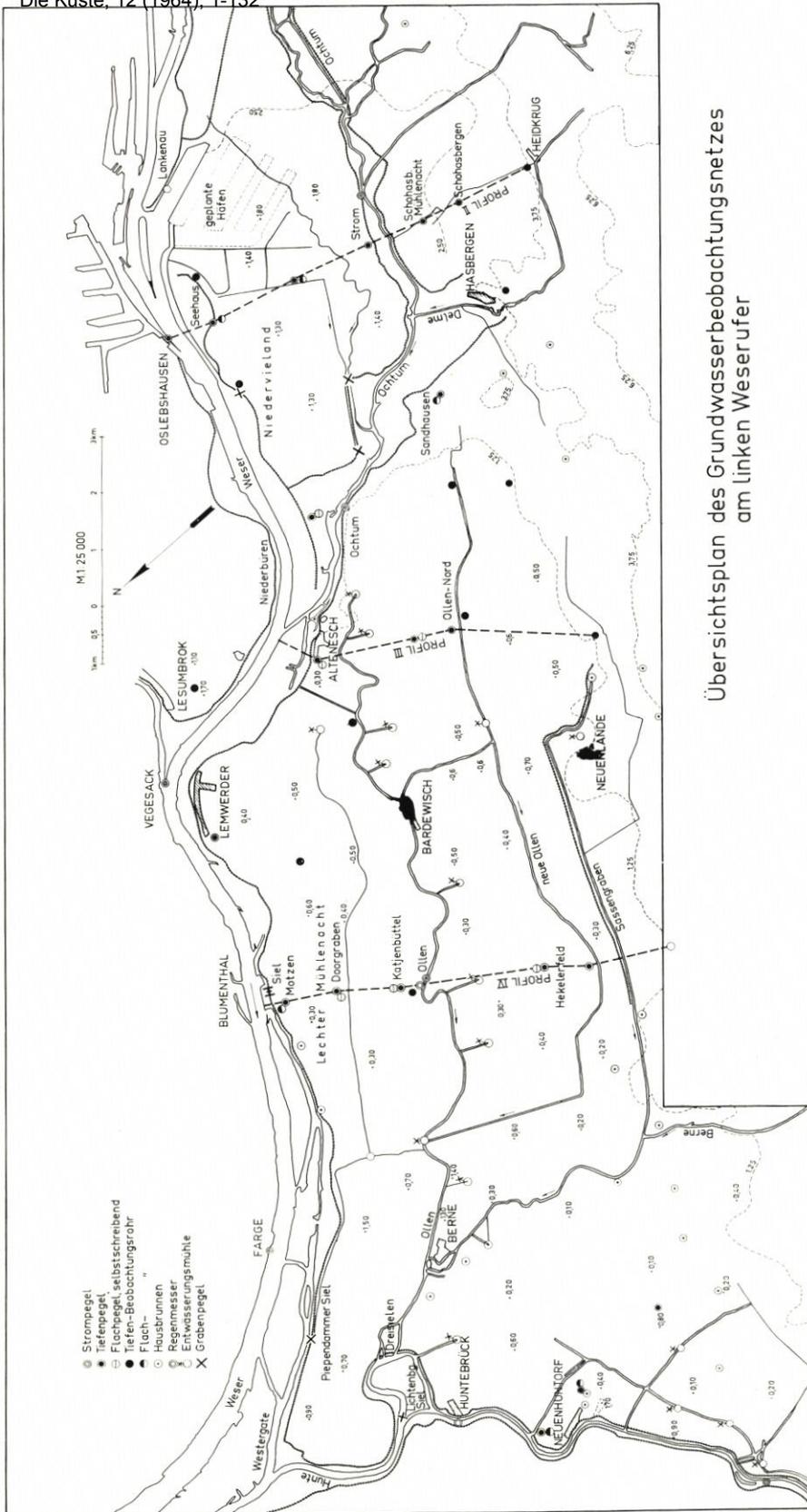
Abbildung 7 zeigt die Tideabhängigkeit der Wasserstandsschwankungen für die Zeit vom 20. 7. bis 25. 8. 1931. Es ergibt sich, daß die T_{nw} der Grundwasserbrunnen im ganzen den Schwankungen des $T^{1/2w}$ im Hafen folgen und im allgemeinen auch höher liegen als letzteres, ebenso wie beim Beispiel Cuxhaven (Abb. 5).

Die Abbildungen 5 bis 7 zeigen, daß die Erscheinungen bei der Abhängigkeit der Grundwasserschwankungen von der Tidebewegung im Fluß, wie sie im Unterwesergebiet beobachtet werden, auch schon früher an anderen Stellen beobachtet worden sind.

IV. Die Entwässerungsverhältnisse im Marschgebiet von der Ochtum bis zur Hunte

Das hier näher behandelte Gebiet der unteren Ochtum (Delmenhorster Wasseracht) und des Landes Stedingen (Große Stedinger Sielacht u. a.) ist im Übersichtsplan Abbildung 8 dargestellt.

Der Plan gibt einen Überblick über die Marschgebiete am linken Weserufer von der



Übersichtsplan des Grundwasserbeobachtungsnetzes am linken Weserufer

Abb. 8

Das zwischen Ollen und Weser gelegene Gebiet liegt in ausgedehnten Flächen nur 0,40 bis 0,50 m über NN. Längs der Weser und der Ollen liegt das Gelände etwas höher. Es wird von dem Doorgraben durchzogen, der bisher sein Wasser an das Piependammer Siel und in die Ollen abgab.

Südlich der Ollen befindet sich das Gebiet der Brookseite, das namentlich in seinem westlichen Teil noch tiefer liegt als die Lechter Mühlenacht (nur 0,20—0,50 m über NN). Es wird durchzogen durch die Neue Ollen und den Sassengraben, die ebenfalls in die Ollen oder Berne münden und auch die Aufgabe haben, das aus der Geest kommende Wasser abzuführen. Im übrigen wird aus der niedrig gelegenen Brookseite das Wasser durch eine Anzahl kleinerer Schöpfwerke in die Ollen abgeführt.

Neben dem Piependammer Siel wurde das Wasser von Stedingen bis 1924 zur Hauptsache durch drei kleinere Siele bei Dreisielen in die Hunte abgeführt. Infolge der Unterweserkorrektion und der Vertiefung der Hunte war die Möglichkeit geschaffen worden, die Vorflut zu verstärken. Im Jahre 1924 wurde als Ersatz für die drei alten Siele mit Reichsmitteln das neue Lichtenberger Siel erbaut. Hierdurch wurden die Voraussetzungen für die Entwässerung wesentlich verbessert.

Über die Wirkung des Ausbaues der Unterweser auf das Grundwasser im vorigen Jahrhundert liegen keine Beobachtungen vor. In dem hier beobachteten oldenburgischen Gebiet wurden die Beobachtungen des Grundwassers im Jahre 1914 aufgenommen; es wurden eine Reihe von Grundwasserbeobachtungsrohren gesetzt.

Im Jahre 1927 stellte die Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde auf Bitten der beteiligten Landesregierungen einen Arbeitsplan auf, der das Gebiet vom Weserwehr bei Bremen-Hemelingen bis zur Hunte umfaßte. Hierbei wurden vier Profillinien festgelegt, in denen an geeigneten Stellen Beobachtungsbrunnen gesetzt wurden. Die Profillinien II bis IV sind in Abbildung 8 eingetragen. Außer den Beobachtungsbrunnen in den Profillinien wurden auch zahlreiche weitere Brunnen an anderen wichtigen Punkten gesetzt. Daneben wurden auch Grabenpegel aufgestellt (4).

Ein großer Teil der Beobachtungsbrunnen arbeitet mit selbstschreibenden Pegeln, so daß die Ganglinien des Grundwasserstandes fortlaufend aufgezeichnet werden.

Die bei dem Einbau der Beobachtungsbrunnen und zahlreichen anderen Bohrungen gewonnenen geologischen Aufschlüsse ergaben, daß vielfach zwei Grundwasserstockwerke vorhanden sind, die durch undurchlässige Bodenschichten getrennt sind und im allgemeinen keine Verbindung miteinander haben. Während das untere Grundwasserstockwerk auf mehr oder weniger große Entfernung von den Wasserstandsschwankungen in der Weser beeinflußt wird, wird das obere Grundwasserstockwerk hauptsächlich von den Niederschlägen gespeist und unterliegt daher in höherem Maße den unregelmäßigen Schwankungen der Regenfälle als das untere Stockwerk. Um die verschiedenartigen Schwankungen der beiden Grundwasserstockwerke verfolgen zu können, wurden an vielen Stellen Tiefbrunnen und Flachbrunnen nebeneinander gesetzt. Hierbei stellte sich heraus, daß das untere Stockwerk an der Unterkante der undurchlässigen Bodenschichten vielfach unter Spannung steht und sein entspannter Wasserspiegel in den Beobachtungsbrunnen zeitweise höher liegt als der Wasserspiegel in den Flachbrunnen.

Im Laufe der jahrzehntelangen Behandlung der Planfeststellungsverfahren für den Ausbau der Unterweser sind nun mehrere Gutachten erstattet und Ausarbeitungen aufgestellt, die sich speziell mit den Grundwasserfragen befassen (vgl. 17, 4 und 8). Das Gutachten KOEHNE (8) erfaßte das oldenburgische Gebiet von Delmenhorst und Stedingen. Für die vorliegende Untersuchung wurde das Beobachtungsmaterial dieses Gutachtens bis 1960 ergänzt.

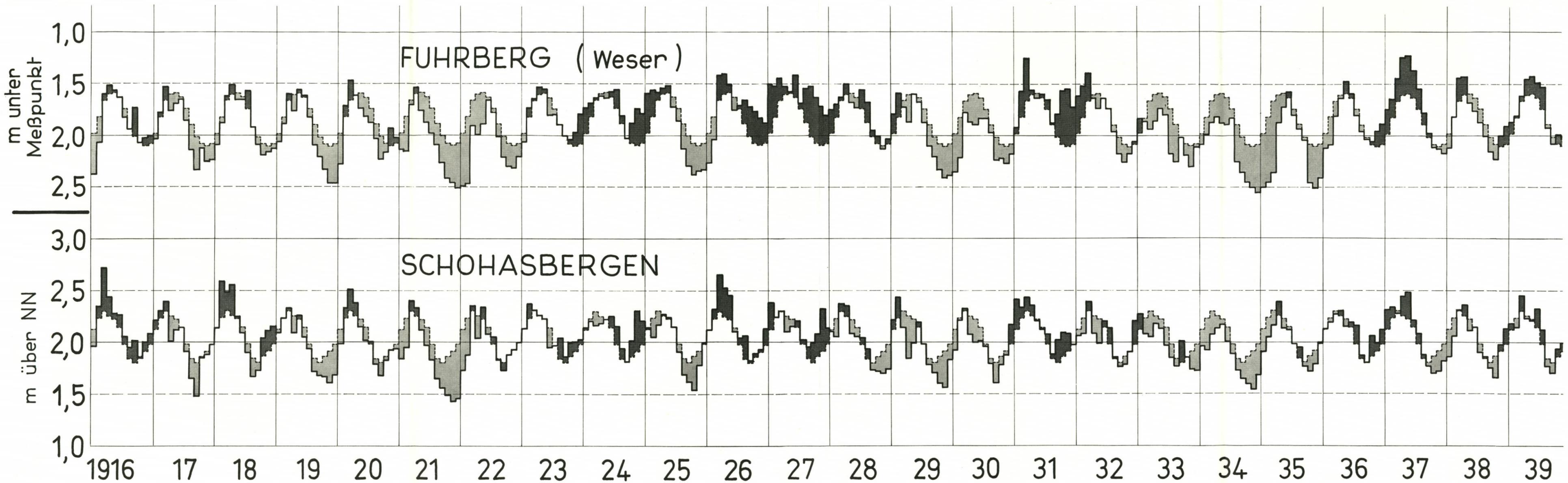


Abb. 9. Monatsmittel der Grundwasserpegel Fuhrberg und Schohasbergen von 1916 bis 1960 im Vergleich mit den langjährigen Monatsmitteln. Teil 1: 1916 bis 1939

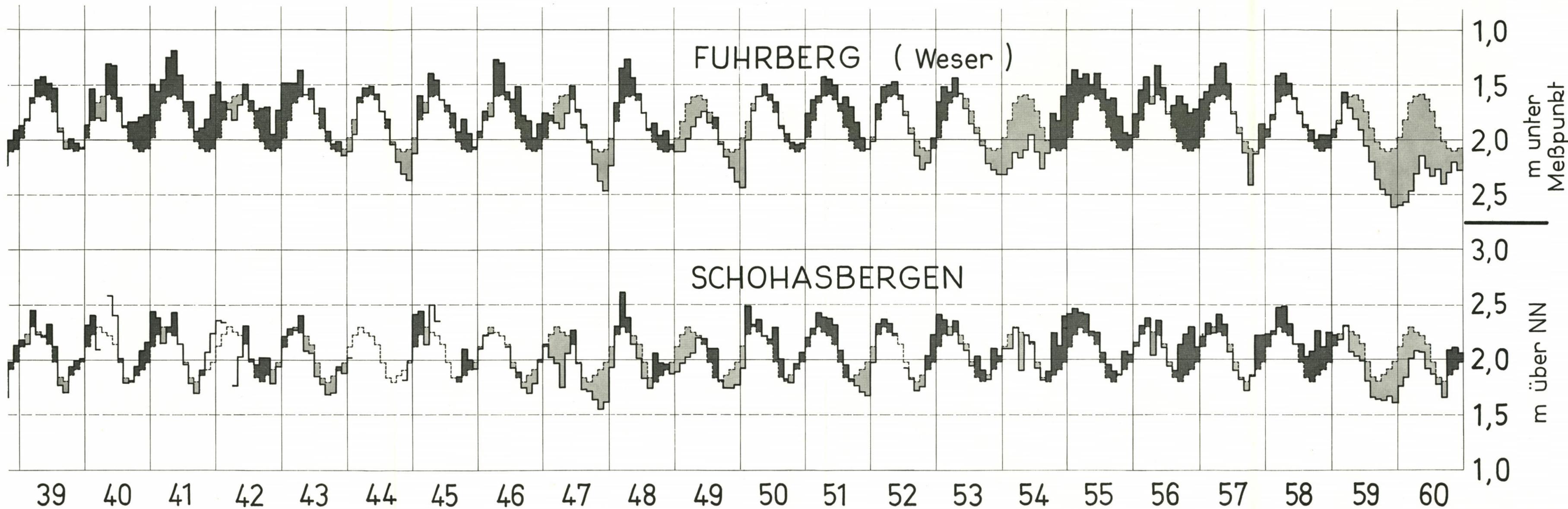


Abb. 9. Monatsmittel der Grundwasserpegel Fuhrberg und Schohasbergen von 1916 bis 1960 im Vergleich mit den langjährigen Monatsmitteln. Teil 2: 1939 bis 1960

V. Die Veränderungen der Grundwasserstände im Gebiet der unteren Ochtum

Die Entwicklung der Grundwasserstände in diesem Gebiet ist von GWINNER (4) für die Zeit von 1917 bis 1937 ausführlich behandelt worden. Er kommt zu dem Ergebnis, daß im Profil II (Abb. 8) das Ausmaß der Grundwassersenkungen bei allen Meßstellen so gering ist, daß ohne weiteres die Witterung dafür als Ursache angesehen werden kann. Die Absenkung des $T^{1/2}w$ der Weser um 26 cm hat sich an dem 900 m entfernt stehenden Grundwasserpegel Seehausen nicht ausgewirkt. Allerdings sei anzunehmen, daß der Grundwasserstand in Seehausen vor 1917 durch die früheren Ausbauten der Unterweser abgesenkt sei, da diese eine stärkere Absenkung der $T^{1/2}w$ in der Weser gebracht hätten, als die späteren Ausbauten; das Ausmaß der erstmaligen Senkung infolge des Unterweser-Ausbaues lasse sich nur schwer abschätzen. GWINNER weist darauf hin, daß der Einfluß einer Senkung der Flußwasserstände in bestimmter Entfernung vom Ufer ein Ende finden muß. In der Vorgeest sei das Grundwasser wegen seiner Entfernung von der Weser deren Einfluß kaum ausgesetzt.

Die Entwicklung der Grundwasserstände des in der Vorgeest im sandigen Boden stehenden Tiefbrunnens Schohasbergen (Profil II in Abbildung 8) zeigt für die Zeit von 1916 bis 1960 ein sehr gleichmäßiges Bild. Besonders aufschlußreich ist ein Vergleich mit dem ebenfalls seit langer Zeit beobachteten Brunnen Fuhrberg (nördlich von Hannover). Der Grundwasserpegel Fuhrberg gilt für das Land Niedersachsen als der am wenigsten von äußeren Einflüssen gestörte Pegel, der seit Jahrzehnten sehr gleichmäßige Schwankungen zeigt.

Die monatlichen Mittelwerte beider Grundwasserpegel sind in Abbildung 9 im Vergleich mit den langjährigen Monatsmitteln aufgetragen; in der Abbildung zeigen die dunklen Flächen die Zeiten mit Grundwasserständen, die höher, die grauen Flächen, die niedriger als die langjährigen Monatsmittel liegen.

Die nachstehenden Zahlen geben einen Vergleich langjähriger Jahresmittelwerte für die Grundwasserpegel Fuhrberg und Schohasbergen, um einen Anhalt zu bekommen, wie sich im ganzen die Grundwasserstände dieser Pegel geändert haben:

langjähr. Jahres- mittel	Fuhrberg		Schohasbergen	
	unter Meßpunkt	Abweichung v. 1916/55 cm	über NN	Abweichung v. 1916/55 cm
1916/55	— 1,85	0	+ 2,05	0
1917/26	— 1,91	— 6	+ 2,03	— 2
1951/60	— 1,86	— 1	+ 2,08	+ 3

Die Abweichungen der 10-Jahres-Mittel 1917/26 und 1951/60 von den 40jährigen Mitteln 1916/55 sind bei beiden Pegeln sehr gering, wobei im 10jährigen Mittel 1951/60 der Grundwasserstand noch um 5 cm höher liegt als 1917/26. Im ganzen ist also eine Grundwasserabsenkung seit 1916 nicht eingetreten.

Dasselbe zeigten aber auch in der nachstehenden Zusammenstellung die niedrigsten Monatsmittel der bekanntesten Trockenjahre:

Jahr	Monat	Fuhrberg		Monat	Schohasbergen	
		Gr. W. unter Meßpunkt	Abweichung v. 1916/55 cm		Gr. W. über NN	Abweichung v. 1916/55 cm
1916/55	—	— 1,85	0	—	+ 2,05	0
1921	Okt.	— 2,50	— 65	Sept.	+ 1,43	— 62
1925	Aug.	— 2,38	— 53	Aug.	+ 1,54	— 51
1929	Sept.	— 2,40	— 55	Sept.	+ 1,56	— 49
1934	Okt.	— 2,54	— 69	Sept.	+ 1,55	— 50
1947	Okt.	— 2,46	— 61	Sept.	+ 1,55	— 50
1959	Okt.	— 2,60	— 75	Okt.	+ 1,61	— 44

Hieraus ist folgendes festzustellen:

1. Bei den niedrigsten Monatsmitteln der Trockenjahre sind die Abweichungen vom 40jährigen Mittel in Schohasbergen geringer als in Fuhrberg (44—62 cm gegenüber 53—75 cm).
2. Die Abweichungen vom 40jährigen Mittel waren in Schohasbergen im Jahre 1921 mit 62 cm am größten und sogar in dem besonders trockenen Jahr 1959 mit 44 cm am kleinsten.
3. Das Monatsmittel vom September 1921 ist mit + 1,43 über NN das überhaupt bekannte niedrigste Monatsmittel.
4. Auch bei den niedrigsten Monatsmitteln der Trockenjahre seit 1916 ist keine Grundwasserabsenkung eingetreten.

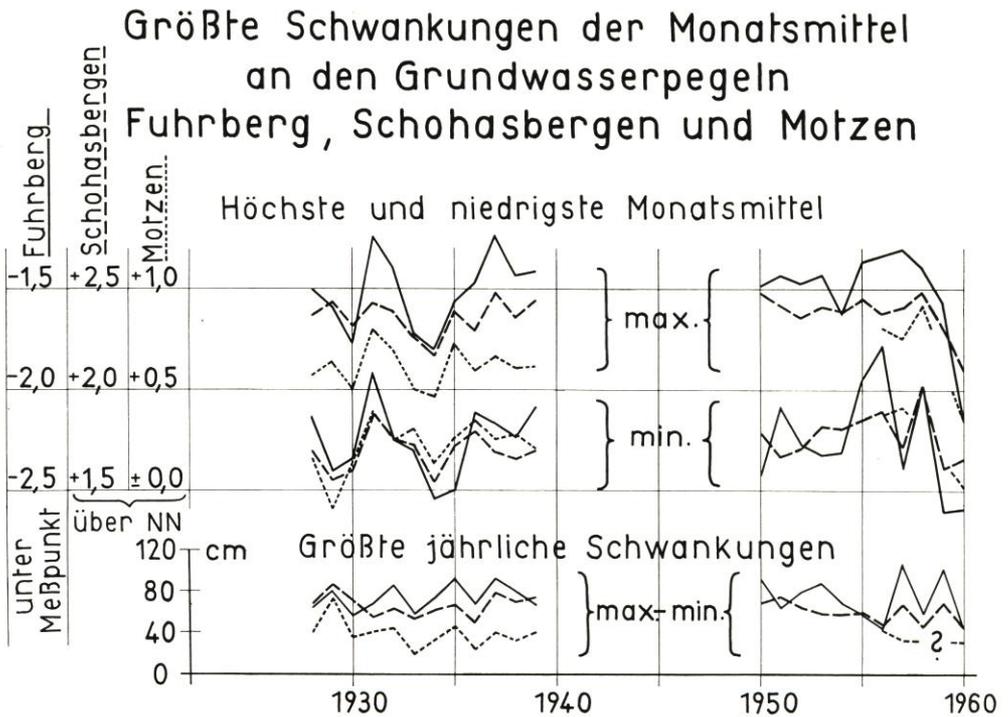


Abb. 10

In Abbildung 10 ist noch ein Vergleich der höchsten und niedrigsten Monatsmittel und des absoluten Größenunterschiedes zwischen beiden (jährliche größte Schwankung) für Fuhrberg, Schohasbergen und dem später noch zu behandelnden selbstschreibenden Tiefbrun-

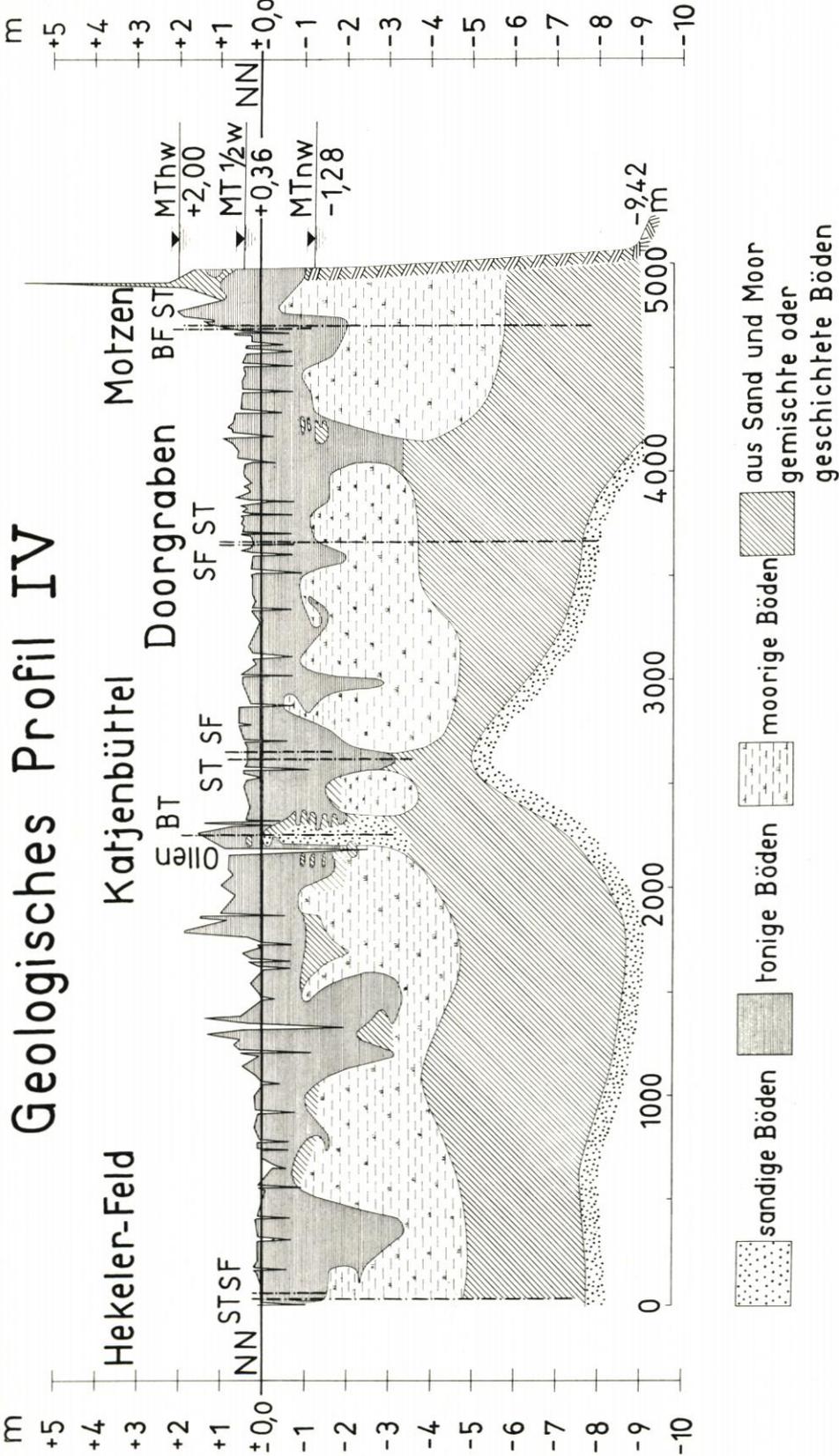


Abb 11. Geologisches Profil IV

nen Motzen (km 22 der Unterweser) vorgenommen worden, und zwar für die Jahresreihen 1928—1939 und 1950—1960, da nur für diese Zeiträume Werte von allen drei Pegeln vorliegen. Hieraus kann folgendes geschlossen werden:

1. Die Unterschiede zwischen den höchsten und niedrigsten Monatsmitteln sind in Fuhrberg am größten, in Motzen am kleinsten.
2. Je tiefer der Standort über dem Meeresspiegel liegt, um so geringer werden die Unterschiede.
3. Die Ganglinien der Schwankungen verlaufen vielfach gleichartig, die Schwankungen sind aber in Fuhrberg stärker als an den Küstenstationen.

Alle diese Ergebnisse zeigen, daß in dem betrachteten Gebiet seit 1916 keine nennenswerten Veränderungen der Grundwasserbewegung stattgefunden haben. KOEHNE (8) äußert in seinem Gutachten, daß durch die vor 1921 eingetretenen Absenkungen des T_{nw} der Weser und Ochtum Veränderungen am Grundwasserpegel Schohasbergen (5 km von der Weser bei Hasenbüren) eingetreten sind, für die Zeit nach 1921 jedoch nicht mehr.

Für das Gebiet der Delmenhorster Wasseracht hatte die Zentralstelle für Vegetationskartierung in Stolzenau im Jahre 1952 ein Gutachten mit Vegetationskarte und Wasserstufenkarte erstattet (15). Hiernach waren in dem genannten Gebiet nur ganz geringfügige Flächen vorhanden, die unter Wassermangel leiden. Die Ansprüche der Interessenten wurden daraufhin durch einen Vergleich mit verhältnismäßig geringen Entschädigungszahlungen erledigt.

VI. Die Veränderungen der Grundwasserstände in Stedingen

Es wurde bereits erwähnt, daß sich die Voraussetzungen für die Entwässerung des Gebietes von Stedingen durch Absenkung der Niedrigwasserstände der Weser und Hunte wesentlich verbessert haben. Über die das Land durchziehenden Vorfluter (Ollen, neue Ollen und Doorgraben) wird infolge der verbesserten Vorflut das Wasser abgezogen. Dieses wird besonders auch durch die niedrige Geländehöhe in der Lechter Mühlenacht und der Brookseite begünstigt. Um dieses zu verdeutlichen, sollen die Grundwasserverhältnisse im Profil IV (vgl. Abb. 8) näher betrachtet werden. Dieses Profil geht von Motzen (Weser-km 22) über Katjenbüttel nach Hekeler Feld. In diesem Profil sind folgende Grundwasserbeobachtungsbrunnen vorhanden:

Motzen	BF und ST
Doorgraben	SF und ST
Katjenbüttel	SF, ST und BF
Hekeler Feld	SF und ST

(Hierin bedeuten: BF Flachbrunnen,
SF Flachbrunnen selbstschreibend,
ST Tiefbrunnen selbstschreibend.)

In Abbildung 11 ist der geologische Aufbau im Profil IV dargestellt. Zwischen der Weser und Hekeler Feld liegt eine Lehmdecke und darunter eine dichte Tonschicht, darunter Moorschichten von wechselnder Mächtigkeit bis zu Tiefen von etwa 5,0 m unter NN. Darunter liegen zumeist sandige, teils tonige Schichten. Bei Hekeler Feld erreichen Ton und Moor zusammen etwa 8 m Mächtigkeit. In der Gegend der Ollen steigt der Sand höher an (altes Flußbett), ebenso in der Gegend des Doorgrabens.

Das gespannte Grundwasser im Sande übt auf die Unterfläche der Tonschichten einen starken Druck aus. Das geologische Profil zeigt auch, daß die Geländeoberfläche von der Weser

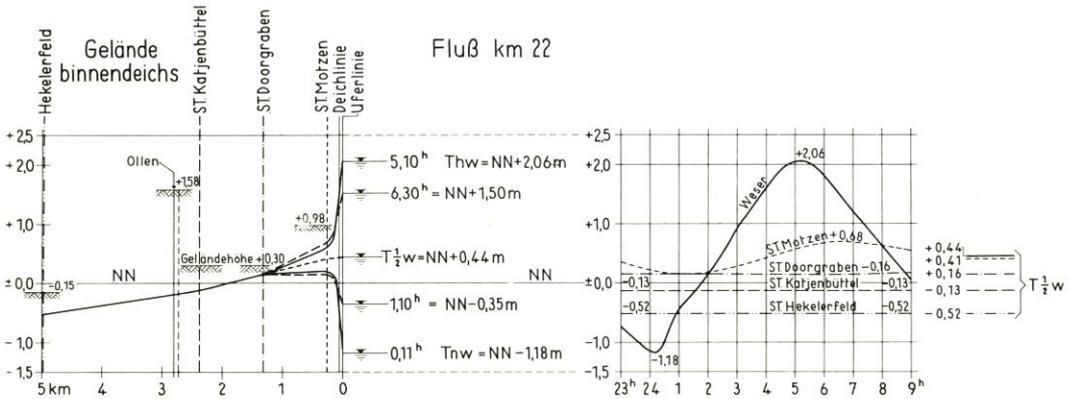


Abb. 12. Grundwasserbewegung an der Unterweser im Profil IV am 15./16. 10. 1939

nach binnen fällt, unterbrochen durch die Gegend der Ollen bei Katjenbüttel. Am tiefsten ist die Geländehöhe bei Hekeler Feld (Brookseite).

Das wird auch besonders deutlich in Abbildung 12, in der der Einfluß der annähernd normalen Tide vom 15./16. 10. 1939 auf die Grundwasserstände der selbstschreibenden Tiefbrunnen (in ähnlicher Weise wie für Cuxhaven in Abb. 5) dargestellt ist. Am ST Motzen (250 m von der Weser) ist die Tideschwankung bereits

auf 55 cm zurückgegangen,
gegenüber 324 cm Tidehub im Fluß,
d. h. auf etwa 17 %.

Am ST Doorgraben (1300 m von der Weser) ist die Tideschwankung nur noch mit wenigen Zentimetern festzustellen, weiter landeinwärts hört sie ganz auf. Der linke Teil der Darstellung zeigt, daß die entspannten Wasserstände des unteren Grundwasserstockwerks in diesem Beispiel in den Grünlandflächen nur 15—40 cm, bei Motzen, mit der Tide schwankend, 30—80 cm unter Gelände lagen.

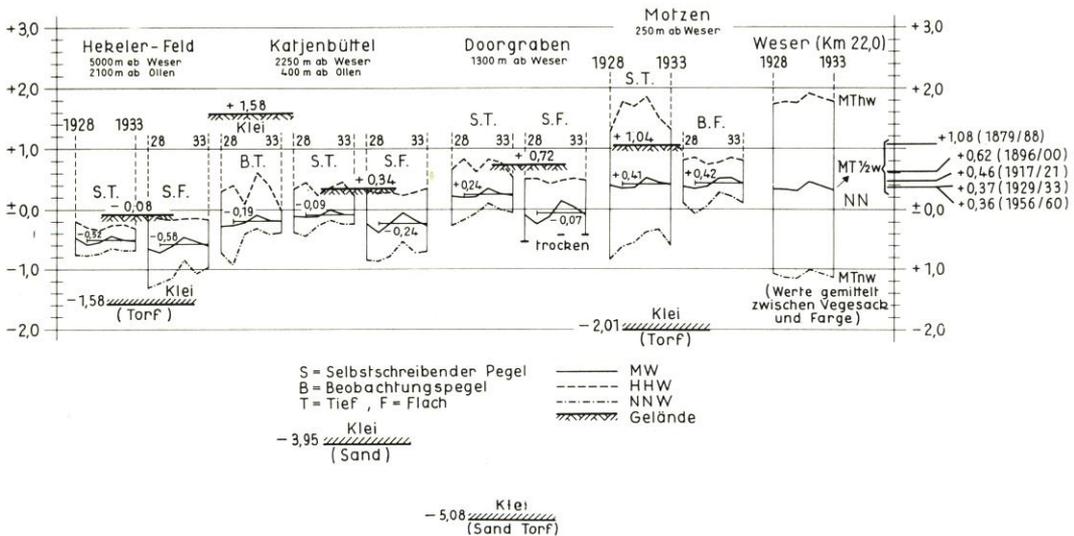


Abb. 13. Das Grundwasser im Profil IV. Jahreswasserstände 1928-1933

In Abbildung 13 sind für alle Beobachtungsbrunnen im Profil IV die Jahresmittelswasser sowie die HHW und NNW der einzelnen Jahre von 1928 bis 1933, sowie die 5jährigen Mittelwasser aufgetragen (Abb. 13 bis 15 sind früheren Bearbeitungen von GWINNER entnommen).

An der rechten Seite sind zunächst die Weser-Wasserstände für den gleichen Zeitraum (umgerechnet auf Motzen — km 22) aufgetragen, daneben die $MT^{1/2w}$ der Weser für verschiedene Jahresgruppen seit 1879/88. Es zeigt sich, daß das $MT^{1/2w}$ hier im ganzen nur von + 1,08 auf + 0,36, d. h. um 72 cm gefallen ist; von 1917/21 bis 1955 jedoch nur um 10 cm.

Die eingetragenen Geländehöhen zeigen das bereits beschriebene Abfallen des Geländes landeinwärts (die Höhenangaben weichen etwas von denen in Abb. 12 ab). Diesem Abfall der Geländeoberfläche passen sich auch die Grundwasserstände allgemein an; die Grundwasser-Oberfläche fällt in beiden Stockwerken ebenfalls landeinwärts.

Die Mittelwasserstände der ST liegen überall höher als die SF, und zwar bei den 5jährigen Mitteln 1929—1933 um 6 bis 31 cm.

Die Unterschiede zwischen dem HHW und NNW sind sehr verschieden. Bei Doorgraben, Katjenbüttel und Hekeler Feld sind diese Amplituden bei den SF größer als bei den ST.

Die Mittelwasser der ST liegen in allen Jahren nicht mehr als 50—80 cm unter Gelände; mit Ausnahme von Motzen werden auch bei den NNW 1,0 m nicht unterschritten. Bei den SF liegen MW und NNW jedoch entsprechend tiefer (Einfluß von Dürreperioden).

Da die Jahresmittel, wie schon GWINNER und KOEHNE betonen, für die Beurteilung der jahreszeitlich bedingten Grundwasserschwankungen nicht geeignet sind, werden noch die kurzfristigeren Schwankungen betrachtet.

In Abbildung 14 sind die täglichen Schwankungen der mittleren Wasserstände in der Weser, der Ollen und den Tiefenpegeln des Profils IV für die Zeit vom 15. 10. bis 30. 11. 1928 dargestellt. Es handelt sich um eine Periode mit häufigen starken Niederschlägen und unruhiger Witterung. Die Gleichartigkeit des Ganges der Fluß- und Grundwasserstände ist erkennbar. Diese Erscheinung ist von GWINNER im Profil IV auch für andere Perioden und für die gleiche Periode noch an anderen Profilen nachgewiesen worden. Auch tägliche Beobachtungen an einigen Hausbrunnen zeigten ein ähnliches Bild. Für beide Bewegungen ist die Witterung in gleicher Weise die Ursache. Das zeigt deutlich der Vergleich mit den täglichen Niederschlägen. Durch die wechselnde Höhe der Niederschläge werden Schwankungen der Oberwassermengen und der Flußwasserstände erzeugt, die Niederschläge verursachen aber auch durch die versickernden Wassermengen einen unmittelbaren Anstieg der Grundwasserstände. Im Tidegebiet kommt jedoch noch der Anstieg der Flußwasserstände ($T^{1/2w}$ der Weser) durch den Windstau hinzu, wie er in Abbildung 14 in den Tagen vom 23. bis 27. 11. infolge mehrerer kleiner bis mittl. Sturmfluten (neben den besonders starken Regenfällen) deutlich wird. Dieser im ST Motzen noch sehr deutliche Anstieg tritt aber bei den Grundwasserpegeln weiter landeinwärts nur noch stark gedämpft und abgeschwächt auf. Insbesondere erkennt man auch, daß die Wasserstände der ST Katjenbüttel und Hekeler Feld die relativ starken MW-Schwankungen der Ollen nicht mitmachen. Im ganzen zeigt auch Abbildung 14 deutlich, daß die Wasserstände des unteren Grundwasserstockwerks landeinwärts tiefer liegen als an der Weser (ST Motzen). Im Profil IV wird das Grundwasser von der Weser gespeist, hat also Gefälle landeinwärts. Die Ollen und Neue Ollen dienen als Vorfluter für das Grundwasser der Lechter Mühlenacht und der Brookseite.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt man bei Betrachtung der monatlichen Schwankungen, wie sie in Abbildung 15 für die Monatsmittel des $T^{1/2w}$ der Weser und Ollen sowie der Grundwasserbrunnen bei Motzen und am Doorgraben für die Zeit von Oktober 1931 bis Oktober 1933 aufgetragen sind. In der Ganglinie des $T^{1/2w}$ der Weser ist eine Abhängigkeit

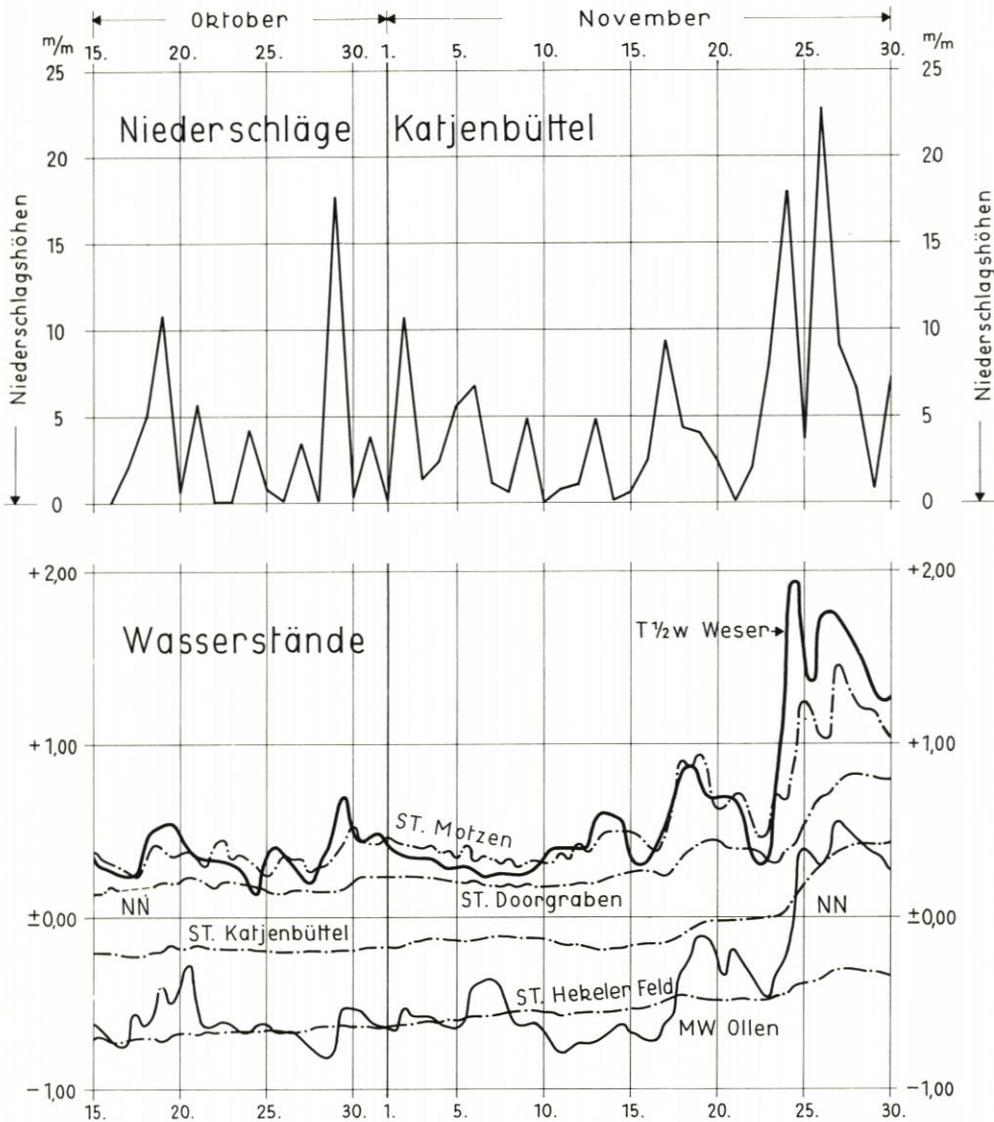


Abb. 14. Mittlere tägliche Wasserstände in den Tiefenpegeln des Profiles IV, in der Weser und in der Ollen. 1928

von der Ganglinie der monatlichen Niederschläge klar ersichtlich. Die Grundwasserstände der ST Motzen und Doorgraben zeigen eine deutliche Gleichgängigkeit mit dem $T^{1/2}w$ der Weser. Dagegen ist der Gang der Flachbrunnen Motzen und namentlich Doorgraben wesentlich anders. Einmal sind hier die absoluten Unterschiede zwischen den höchsten und niedrigsten Monatsmitteln eines Jahres wesentlich größer als in ST Doorgraben. Ferner zeigen sich z. B. trotz reichlicher Niederschläge im Sommer 1932 niedrige Grundwasserstände. Auch der Sommer 1933 verhält sich ähnlich wie 1932. In beiden Wintern herrschen jedoch trotz geringer Niederschläge hohe Grundwasserstände.

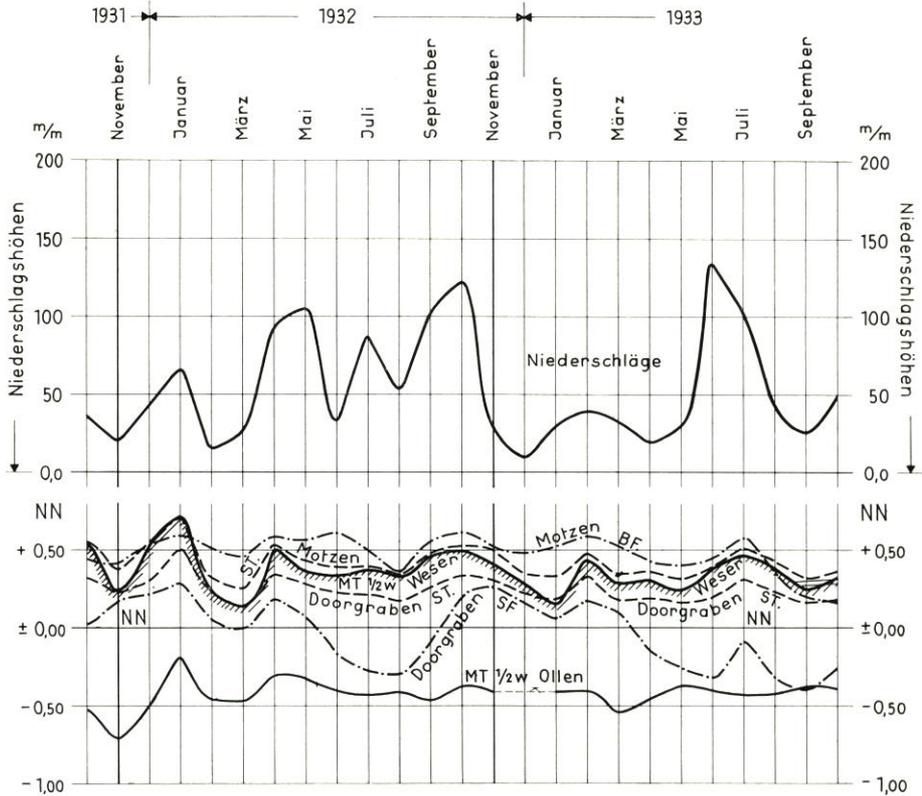


Abb. 15. Monatsmittel der Grundwasserstände im Profil IV, der mittleren Wasserstände der Weser und Ollen sowie monatliche Niederschläge in Katjenbüttel von 1932-1933

Es müssen also auch andere Klimafaktoren mitwirken. Hierüber geben BINSACK und KUNTZE (9) folgende Erklärung an einem ganz ähnlichen Beispiel aus der Wesermarsch:

In den Wintermonaten kann nur wenig Wasser vom Boden verdunsten (hohe Luftfeuchte, niedrige Temperatur). Somit dringt viel Wasser in den Boden ein.

Im Frühjahr, namentlich im Mai, ist die Verdunstung höher als die Niederschläge, so daß praktisch kein Wasser in den Boden eindringt. Zudem verbrauchen unsere landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in diesen Monaten sehr viel Wasser. Das Grundwasser nimmt stetig ab.

Im August—September ist der tiefste Grundwasserstand.

Ab Oktober beginnt wieder ein relativ schneller Anstieg des Grundwasserspiegels.

Dieser hat drei Ursachen:

1. Hohe Niederschläge (schon im August),
2. rasch abnehmende Verdunstung und
3. geringer oder kein Wasserverbrauch durch die Pflanzen (Ernte).

Dieses zeigt, daß das obere Grundwasserstockwerk einen Wasserhaushalt hat, der nicht von den Flußwasserständen, sondern von klimatischen Faktoren abhängig ist. BRÜNE (2) und KOEHNE (8) kommen daher zu dem Ergebnis, daß die Vegetation und der Bodenertrag bei Verhältnissen, wie sie hier in der Marsch vorliegen, vor allem von den Niederschlägen abhängig sind.

Für die Ertragsverhältnisse in der Marsch sind die Grundwasserstände und die Niederschläge in der Vegetationsperiode besonders wichtig. In Abbildung 16 sind daher die Sommer-Mittel (Mai bis Oktober) für den Oberwasserabfluß der Weser (Intschede), die Niederschläge (Bassum), die $T^{1/2}w$ (km 22) und Tnw der Weser (Vege sack und Farge)

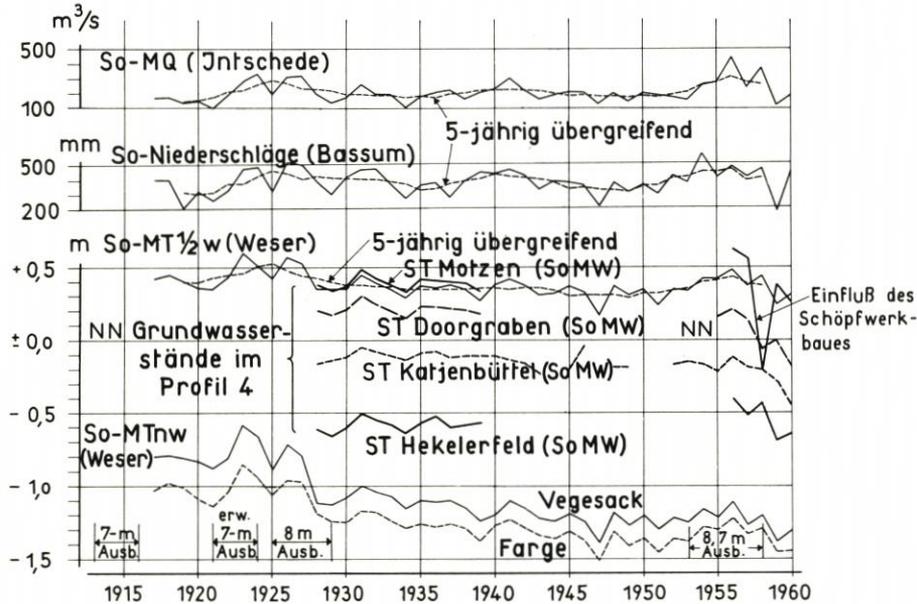


Abb. 16. Sommerwasserstände der Weser und Grundwasserstände im Profil IV von 1917-1960

aufgetragen. Ferner sind die Sommer-Mittel für die ST in Profil IV (Motzen, Doorgraben, Katjenbüttel, Hekeler Feld) aufgetragen, soweit sie vorliegen, d. h. von 1928-1939 und von 1955 bzw. 1956 bis 1960.

Für den Oberwasserabfluß, die Niederschläge und die $MT^{1/2}w$ der Weser sind (gestrichelt) die übergreifenden 5jährigen Mittel eingetragen, durch die die starken jährlichen Schwankungen ausgeglichen werden. Bei allen drei Ganglinien ergeben sich langfristige Schwankungen, die sich bei den $MT^{1/2}w$ der Weser aber in etwas anderer Weise auswirken als bei den Oberwassermengen und Niederschlägen. Festsustellen ist, daß in den Jahren etwa seit 1953 bis 1958 bei allen drei Ganglinien höhere Werte auftreten als in den 40er Jahren.

Die Ganglinien der Grundwasserstände bestätigen die bereits gemachten Feststellungen und zeigen, daß auch die Sommermittelwerte der Tiefbrunnen eine Gleichgängigkeit mit dem $T^{1/2}w$ der Weser aufweisen.

In den Ganglinien der Oberwassermengen, Niederschläge und $T^{1/2}w$ der Weser werden auch die bekannten Trockenjahre durch besonders niedrige Werte deutlich; besonders zeigt sich das auch für das Trockenjahr 1959. Bei den Grundwasserständen ist aber schon 1958 eine Störung erkennbar, die von der starken künstlichen Grundwasserabsenkung beim Bau des neuen Sieles und Schöpfwerks Motzen herrührt. Bei derartigen Bauten sind örtliche künstliche Grundwasserabsenkungen erforderlich, gegenüber denen die infolge der Veränderung der Weserwasserstände eingetretenen ganz unbedeutend sind. Das zeigt sich bei der Ganglinie des ST Motzen, hat sich aber mit geringeren Werten sicher auch noch in Doorgraben und Katjen-

büttel ausgewirkt. Da die außerordentliche Trockenperiode 1959—1960 folgte, haben sich hier die Grundwasserstände auch bis 1960 noch nicht wieder voll ausgeglichen.

Auf Grund der umfangreichen und jahrzehntelangen Beobachtungen, die hier am Beispiel des Profils IV erläutert wurden, kommt KOEHNE (8) in seinem Gutachten zu dem Ergebnis, daß man allgemein selbst für den langen Zeitraum seit 1879 von einer starken Grundwasserabsenkung nicht sprechen kann und daß hierdurch eine Verdichtung des Untergrundes nicht hervorgerufen sein kann. Das geringe Sinken des Weserwasserspiegels habe die Wachstumsbedingungen der Marschböden nicht im geringsten beeinflusst. Er schließt die Möglichkeit eines Einflusses auf die Vegetation auf sandigen Flächen nicht ganz aus; diese sind aber nur in geringem Umfange vorhanden. Eine gewisse Schädigung von in der Nähe der Weser gelegenen Hausbrunnen hält KOEHNE für gegeben.

Das pflanzensoziologische Gutachten von K. WALTHER (16) aus dem Jahre 1960 kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Es wird nachgewiesen, daß die Grünlandvegetation des Gebietes bis auf wenige kleinflächige Parzelleile durch eine von der Grundwasserabsenkung verursachte Austrocknung nicht geschädigt sein kann. Die Bodenfeuchtigkeit anzeigenden Gesellschaften und feuchtigkeitsliebenden minderwertigen Grünlandpflanzen haben zugenommen. Die Gründe sind falsche Bewirtschaftung, zum Teil jedoch ist eine Vernässung infolge der Stilllegung der (früher vorhandenen) Wassermühlen anzunehmen.

VII. Die Umstellung der Entwässerung in Stedingen durch Verbesserung des Sielzuges und Bau von Schöpfwerken

Die ausreichende Entwässerung der Marschgebiete an der Unterweser machte wegen ihrer tiefen Lage zum Meeresspiegel in früherer Zeit sehr große Schwierigkeiten. Namentlich in der Winterzeit war es oft kaum möglich, die Wasserstände im Gebiet von Stedingen ausreichend zu senken. Daher wurde Anfang des 19. Jahrhunderts eine Aufteilung in Polder vorgenommen und eine Anzahl von Wassermühlen errichtet (insgesamt zuletzt 18 „Wasserschraubmühlen“).

Wenn die Landwirtschaft infolge des Weserausbaues einerseits Nachteile durch die Absenkung der Tideniedrigwasserstände in der Weser und Hunte befürchtet hatte, so war hierdurch andererseits die Möglichkeit gegeben, die Entwässerung der Marsch grundlegend zu verbessern. Schon bei den in den 90er Jahren vorhandenen Sielen machten sich diese Vorteile bemerkbar.

Der oldenburgische Oberdeichgräfe TENGE (12) schreibt schon in seiner Abhandlung aus dem Jahre 1896 bei der Erörterung geplanter Entwässerungsmaßnahmen, daß an solche nicht mehr gedacht werde, „da die Siele, die sich früher oft monatelang entweder gar nicht oder nur während weniger Stunden täglich öffneten, in der Regel dem Abwässerungsbedürfnisse genügen, und die Mühlen, welche das Wasser nach den Sieltiefen aufpumpen, nur noch halbe Arbeit finden“. Um die günstigeren Vorflutverhältnisse auszunutzen, wurde — wie bereits erwähnt — als Ersatz für drei alte Siele, die bei Dreisielen in die Hunte entwässerten, im Jahre 1924 das neue Lichtenberger Siel errichtet (Abb. 8). Dieses erhielt eine lichte Weite von 15,0 m (statt 9,0 m bei den drei alten Sielen); sein Drempeel liegt auf — 2,42 m unter NN (gegenüber — 1,25 m der alten Siele). Seine Durchflußkapazität ist daher auch entsprechend größer.

Die Entwicklung des Sielzuges am Lichtenberger Siel (bzw. den früheren drei Sielen) ist in Abbildung 17 durch einen Vergleich der früheren und heutigen mittleren Tidekurven des nahe gelegenen Pegels Huntebrück näher untersucht worden (mittlere Tidekurven für 1886/90,

1923 und 1951/55). Hieraus ist ersichtlich, daß sich (bei einer nur geringfügigen Hebung des MThw um 14 cm)

das MTnw bis 1923 um 73 cm,
bis 1951/55 um 97 cm

gesenkt hat.

In den Kreisen der Landwirtschaft ist oft die Ansicht vertreten worden, daß der Sielzug durch den Weserausbau beeinträchtigt werde und insbesondere die Sielzugzeiten verkürzt würden. Abbildung 17 zeigt, daß dies nicht der Fall ist.

I. Veränderung der mittl. Tidekurve am Pegel Huntebrück mit Angabe der zulässigen Binnenwasserstände am Lichtenberger Siel

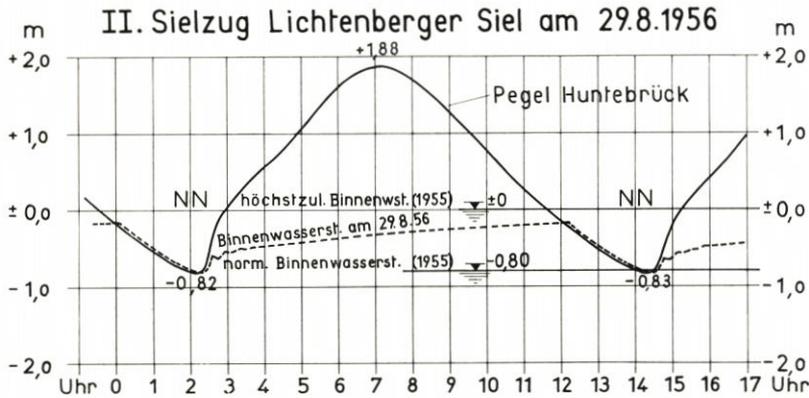
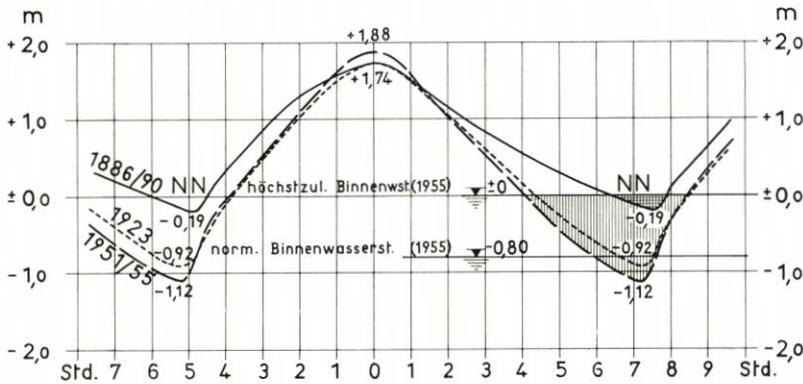


Abb. 17. Verbesserung des Sielzuges für die große Lechter Mühlenacht mit Sielzug am Lichtenberger Siel

Über die Höhe der festgesetzten Binnenwasserstände konnten für die frühere Zeit keine bestimmten Angaben in Erfahrung gebracht werden. Für das Jahr 1956 sind sie bekannt. Nach Inbetriebnahme des neuen Schöpfwerks am Lichtenberger Siel (1957) wurden sie nochmals um 20 cm gesenkt. Hierbei ist unterschieden zwischen dem Normalwasserstand und dem höchsten zulässigen Wasserstand. Es muß nach Abbildung 17 angenommen werden, daß um 1886/90 der Normalwasserstand nicht niedriger als ± 0 NN gelegen hat, da die Siele bei einem MTnw

von NN — 0,19 m sonst keine genügende Vorflut gehabt haben können; der höchstzulässige Wasserstand wird mindestens 0,50 bis 0,80 m höher gelegen haben. Danach ergeben sich folgende Werte für die Binnenwasserstände (bezogen auf NN):

Zeitpunkt	Normalwasserstand:	höchster zulässiger Wasserstand:
1886/90 (wahrscheinliche Werte)	± 0	+ 0,50 bis + 0,80
1956	— 0,80	± 0
1960	— 1,00	— 0,20

Es ist erkennbar, daß die für die Entwässerung wirksamen Druckhöhen des früheren Normalwasserstandes (± 0) gegenüber dem MTnw sich von 19 auf 92 cm vergrößert haben und sich auch die Sielzugdauer für einen solchen Binnenwasserstand von etwa 1,5 auf 4,5 Stunden verlängert hat. Die erheblich besseren Entwässerungsmöglichkeiten sind hieraus offensichtlich.

Daß die angestrebten Binnenwasserstände in dem neuen Siel auch tatsächlich eingehalten werden können, zeigt der im unteren Teil von Abbildung 17 dargestellte Sielzug der annähernd normalen Tagestide vom 29. 8. 1956 am Lichtenberger Siel. Es handelt sich offenbar um einen Tag mit verhältnismäßig geringem Abfluß aus dem Siel, da in der Sielöffnungszeit der Binnenwasserstand sich mit dem Außenwasserstand fast vollkommen ausspiegelte.

Eine weitere grundlegende Verbesserung der Entwässerung des Gebietes von Stedingen wurde durch die Inbetriebnahme des

Mündungsschöpfwerkes am Lichtenberger Siel
(rund 16,2 m³/s Pumpleistung) im Jahre 1957

und des

Sieles mit Mündungsschöpfwerk in Motzen an der Unterweser
(rund 14,8 m³/s Pumpleistung) im Jahre 1960

erreicht. Beide Schöpfwerke entwässern ein Gebiet von zusammen rund 21 200 ha (Abb. 8).

Das Siel in Motzen hat zwei Öffnungen von je 6,0 m lichter Weite erhalten bei einer Höhenlage des Dremfels von NN — 3,00 m. Der höchste zulässige Binnenwasserstand wurde auf NN + 0,05 m, der mittlere Binnenwasserstand auf NN — 0,90 m festgesetzt. Damit ergeben sich ähnlich günstige Entwässerungsmöglichkeiten wie am Lichtenberger Siel (siehe oben). Die Sielzugdauer beträgt bei mittleren Tideverhältnissen etwa 3,5 Stunden.

Vergleichsweise ist darauf hinzuweisen, daß die Sommer-Mittelwasserstände in den Tiefbrunnen des Profils IV (Abb. 16) bis 1960 etwa folgende Werte gehabt haben:

ST Motzen: NN + 0,30 bis + 0,40 m,
ST Doorgraben: NN — 0,10 bis — 0,20 m,
ST Katjenbüttel: NN — 0,60 bis — 0,70 m.

Diese Grundwasserstände des unteren Stockwerks liegen demnach höher als der festgelegte mittlere Binnenwasserstand (NN — 0,90 m) am neuen Siel in Motzen.

Mit der Errichtung des Sieles und Schöpfwerks in Motzen wurde auch eine andere Einteilung des zu entwässernden Gebietes vorgenommen. Das Piependammer Siel wurde geschlossen. Das Siel und Schöpfwerk Motzen soll der Verbesserung der Vorflut und weitgehend der gesonderten, vom Geestwasser unbehinderten Entwässerung der eigentlichen Niederung dienen. Die bisher in die Niederung fließenden Geestwasserläufe wurden in die Berne geleitet, die zum Lichtenberger Siel entwässert (Einzugsgebiet einschließlich eines Teils des Niederungsgebietes linksseitig der Berne rund 10 100 ha). Von Motzen wurde ein Stichkanal bis zur Ollen und von

der Ollen ein Verbindungskanal bis zum Stedinger Kanal (Sassengraben) hergestellt. Hierdurch ist an das Siel und Schöpfwerk Motzen ein Niederungsgebiet von rund 11 100 ha angeschlossen.

Mit der geschilderten Neuregelung der Entwässerungsverhältnisse in Stedingen ist es möglich, den Wasserhaushalt weit besser zu beherrschen als früher.

VIII. Zusammenfassung

Das Ergebnis der Untersuchungen über die Grundwasserbewegung kann wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Durch den Ausbau der Unterweser sind Veränderungen der Flußwasserstände eingetreten, hauptsächlich durch eine starke Absenkung der T_{nw}. Für die Veränderungen der Grundwasserstände in den Uferzonen ist jedoch hauptsächlich das T¹/_{2w} maßgebend, dessen Absenkung wesentlich geringer ist, als die des T_{nw}. Das Ausmaß dieser Veränderungen ist in Bremen—Große Weserbrücke am größten, nimmt aber stromabwärts bis zur Huntemündung (Elsfleth) auf geringe Werte ab. Im näher untersuchten Profil IV im Lande Stedingen (km 22 der Unterweser) betragen die Absenkungen:

	beim MT _{nw} :	MT ¹ / _{2w} :
von 1886/90 bis 1917/21:	105 cm	51 cm
von 1917/21 bis 1951/55:	42 cm	9 cm
zusammen:	147 cm	60 cm

2. Ein Vergleich zwischen den Grundwasserpegeln Fuhrberg (nördlich Hannover) und Schohasbergen (auf der Vorgeest bei Delmenhorst) hat gezeigt, daß bei beiden Pegeln seit etwa 1915 eine Absenkung der Grundwasserstände im ganzen nicht eingetreten ist. Die Wasserstände der niedrigsten Monatsmittel in Trockenjahren unter den 40jährigen Jahresmitteln liegen in Fuhrberg niedriger als in Schohasbergen. Das niedrigste Monatsmittel überhaupt ist in Schohasbergen im September 1921 eingetreten. Die Unterschiede zwischen den höchsten und niedrigsten Monatsmitteln sind in Fuhrberg größer als in Schohasbergen und diese wieder größer als in ST Motzen.
3. In weiten Gebieten der Wesermarsch, auch von Stedingen (Profil IV), steht unter der Deckschicht aus Lehm- und Tonboden ein unteres Grundwasserstockwerk an, das mit den Weserwasserständen in Verbindung steht und gespannt ist. In der Lehm- und Tonschicht befindet sich eine undurchlässige Schicht, über der ein oberes Grundwasserstockwerk steht, dessen Wasserstandsschwankungen größer sind als die des unteren Stockwerks. Der Wasserhaushalt des oberen Grundwasserstockwerks hängt nicht von den Flußwasserständen, sondern hauptsächlich von den Niederschlägen und anderen Klimafaktoren ab. Die entspannten Grundwasserstände des unteren Stockwerks liegen im allgemeinen etwas höher als die Grundwasserstände des oberen Stockwerks. Der Druck des unteren Grundwasserstockwerks hat sich durch die Absenkung der Weserwasserstände etwas vermindert, ist aber noch vorhanden.
4. Die Grundwasserstände in dem unteren Stockwerk der Uferzone machen nur die langfristigen Schwankungen der Flußwasserstände mit. Die kurzfristigen Tideschwankungen des Flusses wirken sich nur in Ufernähe stark gedämpft aus; dieser Einfluß hört im Profil IV in etwa 1000 m Entfernung vom Fluß auf.
5. Im Profil IV in Stedingen fällt die Geländeoberfläche landeinwärts bis in das niedrige Gebiet der Brookseite. Ebenso fallen die im wesentlichen vom T¹/_{2w} der Weser abhängigen Grundwasserstände des unteren Stockwerks im Profil IV landeinwärts ab. Das Grundwasser wird von der Weser gespeist. Die Ollen und die übrigen Hauptwasserzüge dienen als Vorfluter für die Entwässerung der sehr niedrig gelegenen Gebiete.
6. Eine wesentliche Absenkung der Grundwasserstände des mit der Weser in Verbindung stehenden unteren Stockwerks im Profil IV ist seit Aufnahme der Beobachtungen nicht erkenn-

bar. Von 1958 bis 1960 sind die Grundwasserstände im Profil IV durch die starke künstliche Grundwasserabsenkung beim Bau des Schöpfwerks Motzen und die anschließende Trockenperiode gestört (Abb. 16).

7. Durch die eingetretene Absenkung der Tide-Niedrigwasserstände in der Unterweser und Unteren Hunte sind die Möglichkeiten für die Sielentwässerung von Stedingen wesentlich verbessert worden. An dem neuen Lichtenberger Siel können die Binnenwasserstände ohne Schöpfwerksbetrieb um etwa 1,0 m tiefer gehalten werden als früher. Dies kommt den Hauptentwässerungszügen des Stedingen Gebietes zugute.
Ähnlich günstige Entwässerungsverhältnisse ergeben sich auch an dem 1960 in Betrieb genommenen neuen Siel bei Motzen an der Unterweser.
8. Die an beiden Sielen errichteten Schöpfwerke erlauben es, den Wasserhaushalt weit besser zu beherrschen als früher.

Nach den angeführten Gutachten leidet das hier betrachtete Gebiet nicht an Wassermangel. Die Vegetation und die Bodenerträge sind auch nicht von den Flußwasserständen, sondern unter den vorliegenden Verhältnissen vor allem von den Niederschlägen abhängig. Die Ursachen der teils unbefriedigenden Erträge müssen daher auf anderem Gebiet liegen. KUNZE und BINSACK (10) führen aus:

„Die schwerste Hypothek des Marschbauern ist bis heute das Zuviel an Wasser. Das wirkt sich besonders auf den häufig schweren Marschboden im Hinblick auf seine Bearbeitung und Ertragsfähigkeit nachteilig aus. Über lange Zeiträume hatte dieses einen wirtschaftlichen Niedergang weiter Gebiete entlang der deutschen Nordseeküste zur Folge.“

Die Verfasser betrachten die Binnenentwässerung als eine der wesentlichsten Maßnahmen. Erst hierdurch wird eine ausreichende Bodendurchlüftung ermöglicht, durch welche die Bewurzelungstiefe der Kulturpflanzen vergrößert wird. Auf den Grünlandflächen der Marschen ist diese Bewurzelungstiefe meist äußerst gering. „Kein Boden ist so dankbar für eine Durchlüftung durch Wasserabsenkung wie der Marschboden“ (HUSEMANN [6]).

Daneben spielt aber vielfach auch die Nährstoffarmut der Marschböden (insbesondere Kalkarmut), teils als Alterserscheinung, teils aber auch wegen unzureichender Düngung und Pflege, eine große Rolle. Hierauf wird im Schrifttum immer wieder hingewiesen (z. B. BRÜNE [2] und frühere Gutachten).

HUSEMANN (6) hat in seiner ausführlichen Abhandlung die Möglichkeiten für Meliorationsmaßnahmen in der Marsch untersucht. Er betont insbesondere die Notwendigkeit einer systematischen Versuchsanstellung in Verbindung mit grundlegenden Bodenuntersuchungen und eingehenden Feststellungen über den jeweiligen Wasserhaushalt des untersuchten Gebietes.

Im Rahmen solcher umfassenden Untersuchungen stellen die geschilderten Grundwasserhältnisse nur ein Teilgebiet dar. Die verbesserte Sielentwässerung und der Bau der beiden Mündungsschöpfwerke haben in Stedingen eine der Voraussetzungen für die Verbesserung der Ertragsfähigkeit geschaffen.

Schriftenverzeichnis

- (1) BRÜNE, Fr., DEPKEN, GEBKEN: Gutachten der Moorversuchsstation Bremen über die Große Lechter Mühlenacht vom 10. 7. 1935 (nicht veröffentlicht).
- (2) BRÜNE, Fr.: Die Grundwasserabsenkungen im linksrheinischen Erftgebiet und ihr Einfluß auf die Ertragsfähigkeit der dortigen Lößlehm Böden. Wasser und Boden, 1960, H. 10.
- (3) FRIEDRICHS: Das Gebiet der Deichordnung. Heimatkunde des Herzogtums Oldenburg, 2. Bd., 1913.
- (4) GWINNER, R.: Die Grundwasserhältnisse an der Unterweser. Veröffentlichungen des Provinzial-Instituts für Landesplanung und niedersächsische Landesforschung. Oldenburg, R. A. I. Bd. 24, 1945.

- (5) HUSEMANN, C.: Wasserwirtschaft und Grünlandleistungen auf den verschiedensten Böden. Wasser und Boden, 1951, H. 7.
- (6) HUSEMANN, C.: Die Standortuntersuchung und ihre Auswertung unter Berücksichtigung der meliorationsbedürftigen Marsch. Der Kulturtechniker, 1959, Juli-August.
- (7) KOEHNE, W.: Grundwasserkunde. Stuttgart 1948.
- (8) KOEHNE, W.: Gutachten zur Frage der Grundwasserabsenkung und ihrer Folgen im Gebiete der Delmenhorster Wasseracht, der Ochtumer Mühlenacht, der Sannau-Altenescher Mühlenacht und der Großen Lechter Mühlenacht vom 2. 5. 1952 (nicht veröffentlicht).
- (9) KUNTZE und BINSACK: Die hydrologischen Vorgänge im Boden und ihre Nutzbarmachung für die Landeskultur. Praxis und Forschung, Oldenburg 1959, Nr. 4.
- (10) KUNTZE und BINSACK: Kritische Beobachtungen zu den heute anwendbaren Methoden der Dränabstandsrechnung bei Marschböden. Praxis und Forschung, Oldenburg 1959, Nr. 5.
- (11) SCHULZE, F. W. O.: Seehafenbau, 1911, Bd. I.
- (12) TENGE: Die Korrektur der unteren Hunte und ihre Vorgeschichte. Zeitschrift für Verwaltung und Rechtspflege im Großherzogtum Oldenburg, Bd. 23, 1896.
- (13) WALTHER, F.: Beobachtungen über die Grundwasserbewegung hinter einer dichten Uferwand im Tidegebiet. Bautechnik 1932, S. 495—497.
- (14) WALTHER, F.: Veränderungen der Wasserstände und Gezeiten in der Unterweser als Folge des Ausbaues. Hansa, 1954, Nr. 21/22.
- (15) WALTHER, K.: Die Pflanzengesellschaften der Delmenhorster Wasseracht und ihre Wasserversorgung. Arbeiten aus der Zentralstelle für Vegetationskartierung, Stolzenau 1952.
- (16) WALTHER, K.: Pflanzensoziologisches Gutachten über die Auswirkungen des 8-m-Ausbaues der Unterweser auf die Grünland-Vegetation der Großen Lechter Mühlenacht. Arbeiten aus der Bundesanstalt für Vegetationskartierung, Stolzenau/Weser 1960.
- (17) WECHMANN und GROTH: Gutachtliche Äußerung der Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivelements, Berlin zu den Beschwerden gegen die Entscheidung der oldenburgischen Auslegungsbehörde I. Instanz für den Ausbau der Unterweser vom 15. 2. 1937 (nicht veröffentlicht).

Die Häufigkeit hoher Wasserstände an der Westküste von Schleswig-Holstein

Von Hans Rohde

Inhalt

1. Vorbemerkungen	86
2. Änderung der mittleren Wasserstände	88
3. Häufigkeit der Tidehochwasserstände von 1,50 m und mehr über MThw	93
4. Häufigkeitsverteilung hoher Wasserstände über die einzelnen Monate des Jahres	95
5. Häufigkeit hoher Fluten in früheren Jahrhunderten	98
6. Zusammenfassung	110
7. Schriftenverzeichnis	111

1. Vorbemerkungen

Veranlaßt durch die ungewöhnliche Sturmflut vom 9. und 10. Februar 1949, die den damals höchsten beobachteten Windstau an der Westküste brachte, hat SCHELLING (1952) in seiner Arbeit „Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein“ alle Sturmfluten von 1905 bis 1949 genauer untersucht. Dabei haben sich seine Untersuchungen vorwiegend auf den Pegel Husum gestützt. Auch HUNDT (1955) geht in seiner Arbeit „Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste“, die durch die Sturmflut vom 1. Februar 1953, die sogenannte Holland-Sturmflut, veranlaßt wurde, mehrfach auf die Häufigkeit von hohen Wasserständen ein. Eine Darstellung der Häufigkeit der Überschreitung des Wasserstandes von PN + 800 cm am Pegel Tönning wird in dem Aufsatz „Sturmfluten und Hochwassermarken“ (ROHDE 1964) gegeben. Die Häufigkeit der höchsten Tidehochwasserstände an den Pegeln Leerort, Wilhelmshaven und Cuxhaven ist in dem Bericht des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten über die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 angegeben (LÜDERS, LIESE u. KRAMER 1962). HENSEN (1938) geht in seinem Aufsatz „Über die Ursachen der Wasserstandshebung an der deutschen Nordseeküste“ auf die Sturmfluthäufigkeit von Cuxhaven und Hamburg ein. Eingehende Betrachtungen über Sturmfluthäufigkeit sind von LÜDERS (1936) in der Arbeit „Die Sturmfluten der Nordsee in der Jade“ angestellt worden.

Die vorliegende Arbeit soll in der Hauptsache eine statistische Auswertung der Aufzeichnungen der höchsten Tidehochwasserstände der drei Westküstenpegel *Tönning*, *Husum* und *Büsum* bringen. Irgendwelche Schlüsse auf zukünftig zu erwartende Wasserstände oder ähnliches sollen nicht gezogen werden, dagegen ergeben sich einige allgemein interessante Rückschlüsse. Es wird nicht nur die Häufigkeit über einen möglichst großen Zeitraum angegeben, sondern auch die Häufigkeit hoher Wasserstände in einzelnen Monaten. Schließlich wird der Versuch unternommen, auf die Häufigkeit hoher Wasserstände im 15., 16., 17. und 18. Jahrhundert einzugehen. Der Aufsatz soll die Arbeiten von SCHELLING und HUNDT ergänzen.

Häufigkeitsuntersuchungen über hohe Tidehochwasserstände können nur an möglichst langen und vollständigen Wasserstandsbeobachtungs-Jahresreihen ausgeführt werden. Die Tabelle 1 gibt für die ältesten wichtigen Pegel der Westküste an, wann sie in Betrieb genommen wurden und von wann an Schreibpegelaufzeichnungen vorliegen. Die Pegel waren zunächst

Tabelle 1

Angaben über die Beobachtungsdauer der ältesten Pegel an der Westküste

Pegel	in Betrieb seit	Beobachtungswerte für Thw ohne grö- ßere Lücken vor- handen seit	Ohne größere Lücken sind Schreibpegel- aufzeichnungen vor- handen seit
List/Sylt	7. 4. 1898	7. 4. 1898	März 1925
Dagebüll	Januar 1873	1. 2. 1873	Juni 1930
Husum	1. 4. 1867	1. 4. 1867	Juli 1905
Tönning	3. 4. 1867	3. 4. 1867	28. 8. 1875
Büsum	1. 5. 1867	1. 5. 1870	2. 8. 1915

als Lattenpegel in Betrieb. In der ersten Zeit wurden nur einmal am Tage das Tideniedrigwasser und das Tidehochwasser abgelesen und in den Wasserstandslisten zusammengestellt. Derartige Aufzeichnungen sind für Häufigkeitsbetrachtungen nicht zu gebrauchen, weil die Hälfte der tatsächlich eingetretenen Tidehochwasserstände nicht erfaßt wird. Aus der Tabelle ist zu erkennen, daß der Pegel Tönning von allen Pegeln an der Westküste der älteste Schreibpegel ist. Die Aufzeichnungen liegen vom 28. August 1875 an ohne größere Lücken vor. Der Pegel Tönning ist auch einer der ältesten Schreibpegel im Küstengebiet der Nordsee. Der 1841 als Lattenpegel eingerichtete Pegel Cuxhaven ist erst seit 1899 Schreibpegel, von 1863 an war er ein sogenannter Stellpegel, dessen Schwimmer bei Tidehochwasser und Tideniedrigwasser durch einen Sperrhaken festgehalten wurde (HENSEN 1938). Erst von 1863 sind demnach für Cuxhaven einwandfreie Häufigkeitsuntersuchungen möglich. Der 1864 eingerichtete Pegel Wilhelmshaven ist ab 1874 Schreibpegel.

Da der Pegel Tönning der älteste Schreibpegel an der Westküste ist, sind seine Aufzeichnungen für Häufigkeitsuntersuchungen am besten geeignet. Immerhin liegen Pegelbögen von 88 Jahren ohne größere Lücken vor. Soweit kleinere Lücken vorhanden sind, kann auf die Wasserstandslisten zurückgegriffen werden, wodurch dann allerdings in den Ausfallzeiten des Schreibpegels nur die Tageswasserstände erfaßt werden. Man hat nämlich in Tönning wie auch später in Husum und Büsum den Lattenpegel als Hauptbeobachtungspegel beibehalten und die Eintragungen unabhängig von den Schreibpegelaufzeichnungen in die Wasserstandsliste gemacht. Erst ab 1928 wurden die Wasserstandslisten allein nach den Aufzeichnungen der Schreibpegel aufgestellt. Nur besonders extreme Wasserstände, soweit sie von den Pegelbeobachtern voraussehbar waren, wurden auch vor 1928 an den Lattenpegeln nachts abgelesen. Alle Mittelbildungen wurden nach den Wasserstandslisten vorgenommen, dabei wurde also jeweils nur die Hälfte der eingetretenen Tiden berücksichtigt. Auf die Bildung der Jahresmittelwasserstände M_{Thw} und M_{Tnw} wirkt sich dieses Verfahren kaum aus. Dagegen sind auch die in den älteren gewässerkundlichen Jahrbüchern enthaltenen Angaben über die höchsten und niedrigsten Tidewasserstände eines jeden Jahres, soweit nicht bei besonders extremen Wasserständen Sonderbeobachtungen ausgeführt wurden, auf Grund der in den Wasserstandslisten zusammengestellten Tageswerte gemacht worden. Aus diesem Grunde sind in der vorliegenden Arbeit auch die Ganglinien des H_{Thw} für die drei Pegel Tönning, Husum und Büsum angegeben worden, wie sie sich nach den Schreibpegelaufzeichnungen ergeben. Während der Lücken in den Schreibpegelaufzeichnungen können zur Nachtzeit einige hohe Thw eingetreten sein, die in den vorliegenden Häufigkeitsuntersuchungen nicht erfaßt sind. In der Hauptsache liegen die Fehlzeiten der Schreibpegelaufzeichnungen im Winter bei Vereisung des Pegelschachtes. Bei Vereisung sind aber die hohen Wasserstände im allgemeinen selten, so daß man annehmen kann, daß alle hö-

heren Wasserstände bis auf einen unbedeutenden Rest, durch den die Häufigkeitsuntersuchungen kaum beeinträchtigt werden, erfaßt worden sind.

Besonders bei den früheren Aufzeichnungen der Wasserstände ergibt sich die Frage nach ihrer Genauigkeit. Beobachtungsblätter aus der Zeit vor 1936 sind nicht vorhanden. Man kann aber wohl unterstellen, daß die Lattenpegelbeobachtungen so sorgfältig wie möglich gemacht wurden und auch häufig die Schreibpegel anhand der Lattenpegel kontrolliert und berichtigt worden sind. Stichproben ergaben im allgemeinen nur geringfügige Abweichungen zwischen den Schreibpegelaufzeichnungen und den Angaben in den unabhängig davon aufgestellten Wasserstandslisten. Dabei ist noch fraglich, welche Angaben richtiger sind, die Lattenpegelbeobachtungen oder die Schreibpegelaufzeichnungen! Lattenpegelbeobachtungen im Tidegebiet zur Feststellung des Thw und Tnw sind immer etwas fragwürdig, weil die Beobachtungen eine längere Zeit durchgeführt werden müssen, um den Scheitelpunkt zu erfassen. Besonders bei Wellenschlag, der gerade bei höherem Thw immer vorhanden ist, sind Lattenpegelablesungen ungenau. Bei Schwimmer-Schreibpegeln lassen sich die extremen Wasserstände dagegen in ihrer Höhe infolge der Dämpfung im Schwimmerschacht einwandfrei festlegen. Daher wurden bei den vorliegenden Häufigkeitsuntersuchungen die Aufzeichnungen der Schreibpegel als richtig angesehen und unmittelbar verwendet. Eine Schwierigkeit mußte beim Pegel Tönning besonders berücksichtigt werden, die Veränderung des mittleren Wasserstandes durch die Eiderabdämmung. Darauf wird noch näher eingegangen werden.

2. Änderung der mittleren Wasserstände

In dem Aufsatz „Sturmfluten und Hochwassermarken“ in der Zeitschrift „Wasser und Boden“ (ROHDE 1964) wurden die Angaben über die Häufigkeit hoher Wasserstände am Pegel Tönning auf den festen Horizont PN + 800 cm (NN + 300 cm) bezogen. Dieser Wasserstand liegt 1,50 m über dem MThw 1956/60 am Pegel Tönning. Für gewisse Überlegungen, z. B. für die Ermittlung extremer Sturmflutwasserstände und für die Festlegung von Deichhöhen ist es zweckmäßig, von einem festen Horizont auszugehen. So gibt auch HUNDT (1955) mittlere jährliche Überschreitungshäufigkeiten des Thw bezogen auf feste Horizonte an. SCHELLING (1952) führt in der Tabelle 18 seiner Arbeit alle Sturmfluten am Pegel Husum auf, die das MThw um 1,55 m überschritten haben. Dabei gibt er für das MThw den festen Wert von 645 cm a. P. an, der dem 19jährigen Mittel der Jahre 1930/48 entspricht. Er bezieht die von ihm untersuchten Sturmfluten also auch auf den festen Horizont von PN + 800 cm. Bei den Häufigkeitsuntersuchungen der vorliegenden Arbeit soll dagegen von der Überschreitung des MThw ausgegangen werden. Die Untersuchungen werden dabei im wesentlichen nach der gleichen Methode durchgeführt wie die Untersuchungen von HENSEN (1938).

Zunächst mußte die Änderung des MThw festgestellt werden. Die vorhandenen weitgehend lückenlosen Pegelbeobachtungen ließen eine Untersuchung der Änderung des MThw von Tönning ab Abflußjahr 1868, von Husum ab 1870 und von Büsum ab 1871 zu. Wie auch bei HENSEN (1938), GAYE (1951) und LÜDERS (1936) wurden die 19jährigen übergreifenden Mittel gebildet. Abbildung 1 zeigt die Ganglinien der übergreifenden 19jährigen Mittel der drei Pegel Tönning, Husum und Büsum. Wie zu erwarten, zeigen alle drei Pegel im allgemeinen einen Anstieg der Ganglinien. Dieser bisher auf Küstensenkung, nach neueren Forschungen aber auf eine allgemeine Hebung des mittleren Meeresspiegels zurückgeführte Anstieg des MThw, wird von HENSEN (1938) für die Pegel Cuxhaven und Hamburg und von LÜDERS (1936) für Wilhelmshaven angegeben, von GAYE (1951) für die mittleren Monatswasserstände verschiedener Ostsee- und Nordseepegel. Die Ganglinie des Pegels Büsum (Abbildung 1) zeigt

von 1871/89 bis 1914/32 eine sehr gleichmäßige Steigung, dann ist ein Abfall festzustellen und die Ganglinie verläuft danach etwa horizontal. Erst von 1933/51 an ist wieder ein stetiger Anstieg zu beobachten. Nach der Methode der kleinsten Quadrate wurden die Ausgleichslinien berechnet. Es wäre wenig sinnvoll gewesen, für den deutlich abgelenkten Kurvenverlauf eine einheitliche Ausgleichsline zu ermitteln. Vielmehr wurde eine Ausgleichsline für den Zeitraum 1871/89 bis 1915/33 berechnet und eine zweite für den Zeitraum 1908/26 bis 1945/63. Die erste Ausgleichsline hat eine Steigung von 0,336 cm/Jahr, die zweite eine von 0,0495 cm/Jahr. Die Linien schneiden sich bei dem Abszissenwert 1910/28. Dieser geknickte Ausgleichslinienzug soll den weiteren Häufigkeitsuntersuchungen für die Überschreitung des MThw des Pegels Büsum um eine bestimmte Höhe zugrunde gelegt werden. Dabei wird jedem Jahr das ausgeglichene 19jährige MThw zugeordnet, das den Zeitraum von neun Jahren vorher und neun Jahren hinterher umfaßt, so z. B. dem Jahre 1900 das MThw 1891/1909.

Betrachtet man die Ganglinie des übergreifenden 19jährigen Mittels des MThw für den Pegel Tönning, so verläuft sie zunächst fast parallel zu der Linie von Büsum. Von 1918/36 an ist

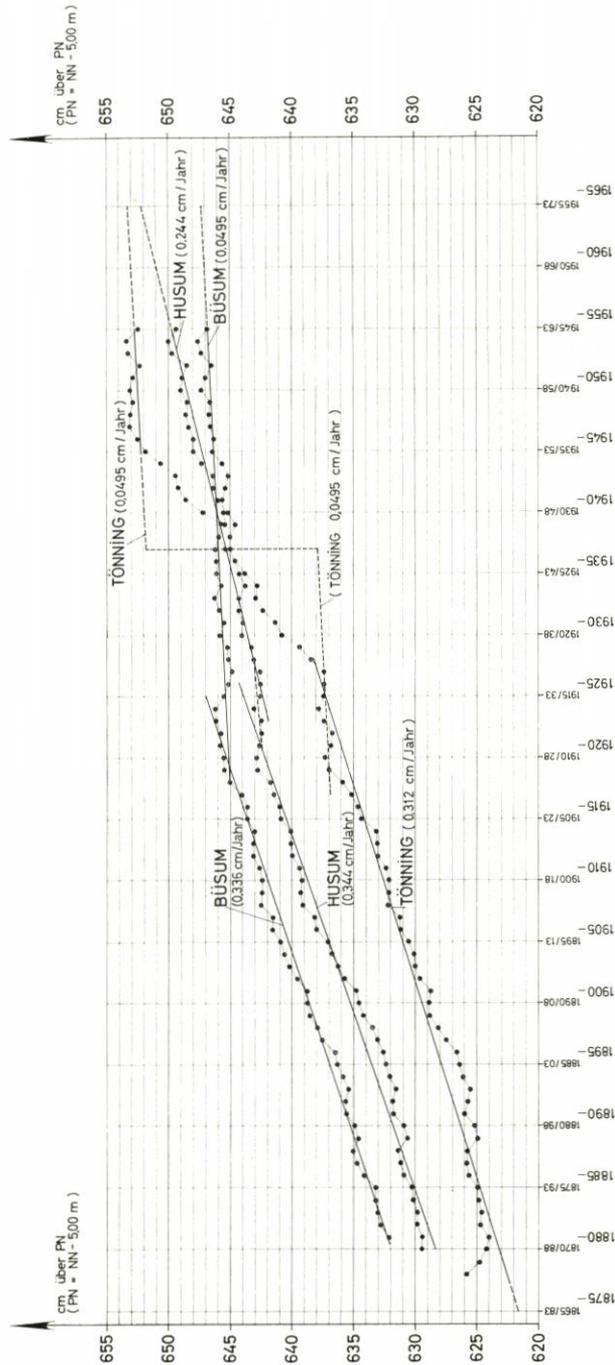


Abb. 1. 19jährige übergreifende Mittel des MThw für die Pegel Büsum, Tönning und Husum

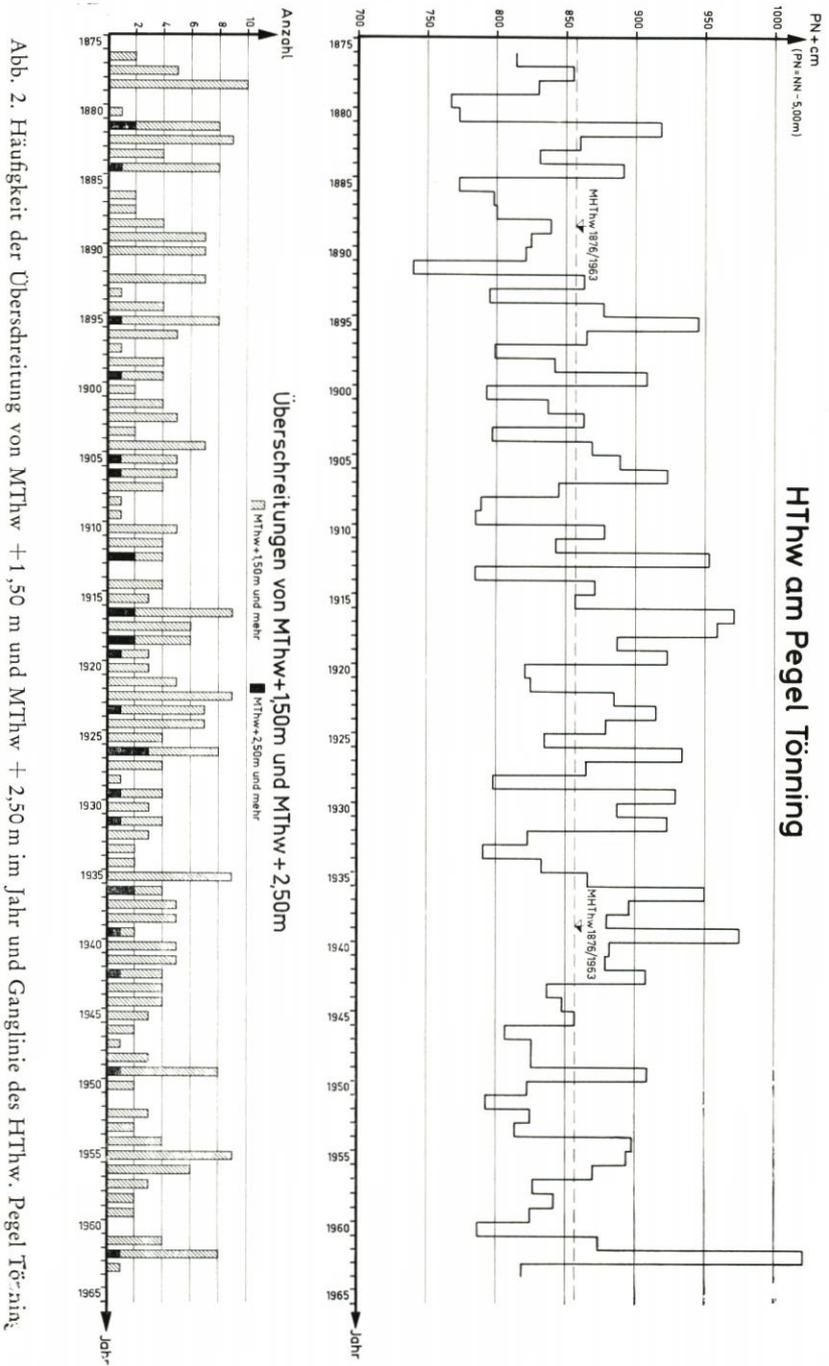


Abb. 2. Häufigkeit der Überschreitung von MThw + 1,50 m und MThw + 2,50 m im Jahr und Ganglinie des HThw. Pegel Tönning.

ein stärkerer Anstieg festzustellen, der erst von 1936/54 an etwa in eine Horizontale übergeht. Die Ganglinie von Tönning schneidet die von Büsum. Der stärkere Anstieg zwischen 1918/36 und 1936/54 ist auf die Auswirkungen der Eiderabdämmung bei Nordfeld zurückzuführen. Die Abdämmung hatte eine Vergrößerung des Tidehubes zur Folge, die sich aus einer stärkeren Absenkung des MTnw und einem schwächeren Anstieg des MThw zusammensetzte. Die Absenkung des MTnw betrug am Pegel Tönning etwa 40 cm (ROHDE und TIMON 1963). Es hätte wenig Sinn, den Häufigkeitsuntersuchungen für Tönning für die Zeit von 1918/36 bis 1936/54 eine Bezugslinie zugrunde zu legen, welche die tatsächlichen übergreifenden 19jährigen Mittel des MThw dieses Zeitraumes ausgleicht. Die Änderung des MThw infolge der Abdämmung ist innerhalb einer kurzen Zeit fast „sprunghaft“ eingetreten, daher muß eine solche sprunghafte Änderung auch in der Ausgleichslinie zum Ausdruck kommen, auf welche die Überschreitungen bezogen werden. Zunächst wurde die Ausgleichslinie für den Zeitraum von 1868/86 bis 1918/36 berechnet. Die Steigung beträgt 0,312 cm/Jahr. Aus dem sehr weitgehend parallelen Verlauf der Ganglinien von Büsum und Tönning für diesen Zeitraum und wieder für den Zeitraum von 1936/54 bis 1945/63 wurde angenommen, daß auch in dem dazwischenliegenden Zeitraum von 1918/36 bis 1936/54 die Ausgleichslinie von Tönning parallel zu der von Büsum gelaufen wäre, wenn die Eiderabdämmung nicht ausgeführt worden wäre. Es wurde daher von dem Schnittpunkt der Ausgleichslinie Tönning von 1868/86 bis 1918/36 mit der Abszisse 1915/33 eine Parallele zu der Ausgleichslinie Büsum von 1908/26 bis 1945/63 bis zu der Abszisse 1927/45 gezogen. Eine zweite Parallele zu der Büsumer Ausgleichslinie wurde durch den letzten Abschnitt der Tönninger Ganglinie des 19jährigen Mittels des MThw von 1936/54 bis 1945/63 so gezogen, daß die Ausgleichslinie zu diesem Abschnitt der Tönninger Ganglinie etwa ähnlich liegt wie die Büsumer Ausgleichslinie zu dem entsprechenden Abschnitt der Büsumer Ganglinie. Bei der Abszisse von 1927/45 ergibt sich dann ein Sprung von 14 cm in der Ausgleichslinie. Dieser Sprung, der dem Jahre 1936 zugeordnet ist, stellt die mittlere Änderung des MThw am Pegel Tönning infolge der Eiderabdämmung dar. Die Ausgleichslinie verläuft also bis zum Jahre 1936 (1927/45) so, als ob die Eiderabdämmung nicht ausgeführt worden wäre und von da an so, als ob sie schon immer bestanden hätte. Tatsächlich ist die Baumaßnahme Eiderabdämmung auch innerhalb weniger Wochen hydrologisch wirksam geworden. Nachdem man im Februar 1936 eine Schüttbrücke gebaut hatte, wurde Anfang März mit der Schüttung des Steindammes durch die Eider begonnen, dessen Krone auf MThw liegen sollte. Anfang Mai ist dieser Damm fertiggestellt gewesen, so daß mit dem Einbau des Kleibodens für den eigentlichen Sperrdamm begonnen werden konnte. Im September 1936 war der Dammbau vollendet. Für das Abflußjahr 1936 kann man demnach bis Anfang März für die Häufigkeitsuntersuchungen mit einem langjährigen MThw für Tönning von $PN + 638$ cm rechnen, für den Rest des Jahres mit $PN + 652$ cm (Abb. 1).

Die Ganglinie des 19jährigen übergreifenden Mittels des MThw für Husum ist ebenfalls auf Abbildung 1 dargestellt. Die nach der Methode der kleinen Quadrate ermittelte Ausgleichslinie für den Zeitraum von 1870/88 bis 1916/34 hat eine Steigung von 0,344 cm/Jahr. Auch bei Husum ist ein deutliches Abknicken der Ganglinie von etwa 1912/30 an bemerkbar. Nachdem die Ganglinie von diesem Zeitpunkt an zunächst mit sehr geringer Steigung verläuft, wird die Steigung von etwa 1925/43 an wieder größer. Die Steigung der Ausgleichslinie für den Zeitraum von 1913/31 bis 1945/63 wurde mit 0,244 cm/Jahr berechnet. Der Übergang zwischen beiden Ausgleichslinien wurde durch eine dritte Linie zwischen 1912/30 und 1918/36 gebildet (s. Abb. 1).

An den Ganglinien der übergreifenden 19jährigen Mittel des MThw ist bei den durch größere Baumaßnahmen unbeeinflussten Pegeln Büsum und Husum der wesentlich flachere Kurvenverlauf seit 1914/32 bzw. 1912/30 bemerkenswert. Dieses Verhalten, das durch die Ent-

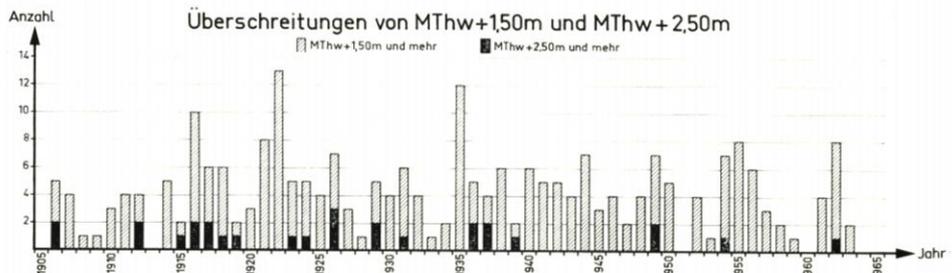
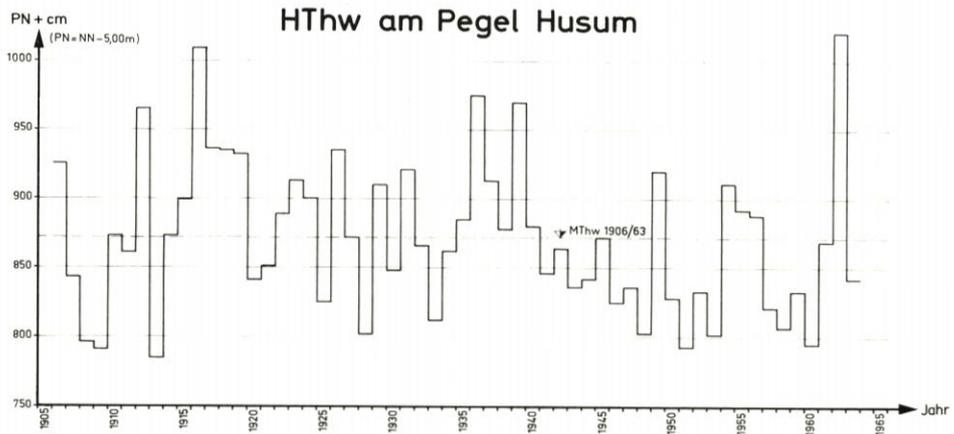


Abb. 3. Häufigkeit der Überschreitung von MThw + 1,50 m und MThw + 2,50 m im Jahr und Ganglinie des HThw. Pegel Husum

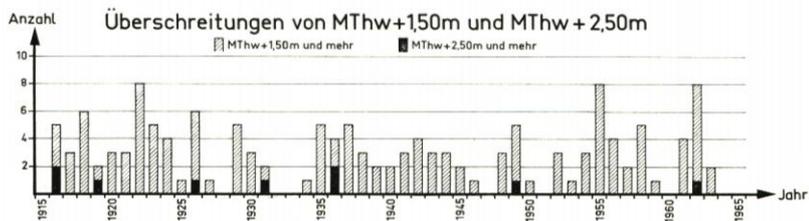
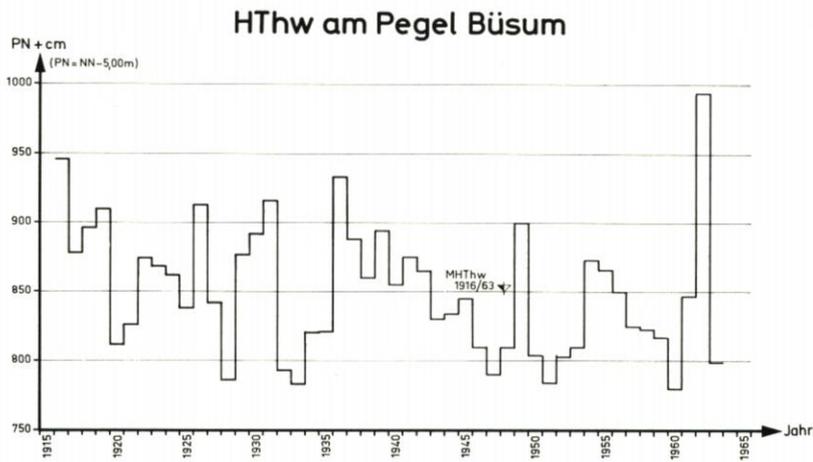


Abb. 4. Häufigkeit der Überschreitung von MThw + 1,50 m und MThw + 2,50 m im Jahr und Ganglinie des HThw. Pegel Büsum

wicklung während des Zeitraumes von 1936/54 bis 1945/63 auch für den Pegel Tönning bestätigt wird, läßt eine geradlinige Extrapolation der Ausgleichsgeraden des Zeitraumes von 1870/88 bis 1914/32 über einen längeren Zeitraum, z. B. bis etwa 1982/2000 nicht zu! Ebenso wird eine geradlinige Extrapolation nach rückwärts nicht zulässig sein. Daher ist auch nicht richtig, für das MThw 1825 von Tönning den Wert von PN + 607 cm anzunehmen, der sich durch geradlinige rückwärtige Extrapolation für 1816/34 ergeben würde. FISCHER (1955) gibt das MThw 1825 mit PN + 617 cm an, HUNDT (1955) rechnet mit PN + 610 cm. Der Wert PN + 610 cm liegt wahrscheinlich auch noch zu tief.

3. Häufigkeit der Tidehochwasserstände von 1,50 m und mehr über MThw

Die folgenden Häufigkeitsuntersuchungen sollen von dem Wasserstand von 1,50 m über dem nach dem vorigen Abschnitt ermittelten jeweiligen MThw ausgehen. Die untere Darstellung der Abbildung 2 gibt für den Pegel Tönning an, wie oft in einem Abflußjahr seit dem Vorliegen der Schreibpegelaufzeichnungen die Wasserstände von 1,50 m und 2,50 m über MThw von dem Thw erreicht oder überschritten wurden. In der oberen Darstellung ist die Ganglinie des HThw angegeben, zum Vergleich ist das MHThw von 1876/1963 eingetragen. Die Abbildungen 3 und 4 geben die entsprechenden Darstellungen für die Pegel Husum und Büsum. Vergleicht man die Darstellungen für die drei Pegel miteinander, so fällt auf, daß das MHThw von Husum am höchsten, das von Büsum an niedrigsten liegt. Diese Beobachtung gilt auch für den Vergleich des MHThw der Jahresreihe von 1916/63. Für diesen Zeitraum ist das MHThw am Pegel Husum 874 cm, Tönning 870 cm und Büsum 850 cm. Die Überschreitung des MThw um 1,50 m und mehr ist in Büsum wesentlich seltener als in Husum und Tönning. MThw + 1,50 m wurde in Büsum in dem Zeitraum von 1916 bis 1963 145mal erreicht bzw. überschritten, in Tönning 200- und in Husum 222mal. Maßgebend für diese Unterschiede ist wohl die unterschiedliche Lage der drei Pegel. Tönning und Husum liegen verhältnismäßig tief in einer engen trichterförmigen Flußmündung oder in einer trichterförmigen Meeresbucht, während Büsum am Eingang einer weiten Meeresbucht liegt. Die Gegenüberstellung von HThw und Überschreitungshäufigkeit von MThw + 1,50 m zeigt, daß keineswegs in einem Jahr mit großer Überschreitungshäufigkeit auch zugleich das HThw besonders hoch zu liegen braucht.

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, daß die absolute Höhe der höchsten Sturmflutwasserstände immer größer geworden ist. Das geht auch aus der Ganglinie des HThw für den Pegel Tönning (Abbildung 2) hervor, wenn man das HThw der Jahre 1881, 1895, 1912, 1916, 1939 und 1962 vergleicht. Dieser Anstieg ist im wesentlichen wohl auf den allgemeinen Anstieg der Wasserstände zurückzuführen, wie er sich im Anstieg des MThw (Abb. 1) zeigt. Wie ist es aber mit der Häufigkeit hoher Wasserstände? Hat sie im Laufe der Jahre zu- oder abgenommen? HENSEN (1938) führt eine derartige Untersuchung bereits 1938 für die Pegel Cuxhaven und Hamburg durch. Er untersucht den Zeitraum von 1875/93 bis 1918/36. Die jährliche Häufigkeit der Überschreitung des Wasserstandes PN + 730 cm in Cuxhaven nimmt von 8,3 auf 14,4 zu. Die jährliche Häufigkeit der Überschreitung des MThw um mehr als 1,20 m steigt von 5,9 auf 7,1 (Cuxhaven) bzw. von 5,5 auf 7,3 (Hamburg). Das Ergebnis einer ähnlichen Untersuchung für die drei Westküstenpegel Tönning, Husum und Büsum soll hier angegeben werden. Zunächst wurden für den Pegel Tönning die 19jährigen übergreifenden Mittel der jährlichen Überschreitungshäufigkeit des Wasserstandes PN + 800 cm gebildet und als Ganglinie a in Abbildung 5 dargestellt. Schon nach dem Augenschein ergibt sich ein Anstieg dieser Linie. Nach der Methode der kleinsten Quadrate wurde die Ausgleichslinie berechnet und eingezeichnet. Danach wurde 1876/94 der Wasserstand PN + 800 cm im Mittel etwa 2,2mal im Jahr überschritten, 1945/63 etwa 3,8mal.

In der Zeit von 1876 bis 1963 wurde das nach Abschnitt 2 ermittelte MThw am Pegel Tönning insgesamt 359mal um 1,50 m und mehr überschritten. Diese 359 Wasserstände wurden nach Stufen von jeweils 20 cm ausgezählt und die Häufigkeitskurve in Abbildung 6 dargestellt. Die Kurve hat einen recht ausgeglichenen Verlauf. Das MThw wurde in dem Zeitraum einmal um mehr als 350 cm überschritten, nämlich am 16. Februar 1962 um 368 cm. Eine entsprechende Kurve für die Überschreitung des Wasserstandes PN + 800 cm am Pegel Tönning ist in dem Aufsatz „Sturmfluten und Hochwassermarken“ (ROHDE 1964) angegeben. Die auf ein Jahr umgerechnete Häufigkeitskurve für Tönning ist auf Abbildung 7 mit logarithmischer Abszisse dargestellt. In Abbildung 7 sind auch die entsprechenden Häufigkeitskurven für Husum und Büsum eingetragen. Die Kurven für Husum und Tönning liegen sehr dicht beieinander; die Kurve für Husum liegt etwas höher, wie sich auf Grund der größeren absoluten Zahl der Überschreitungen des MThw um 1,50 m

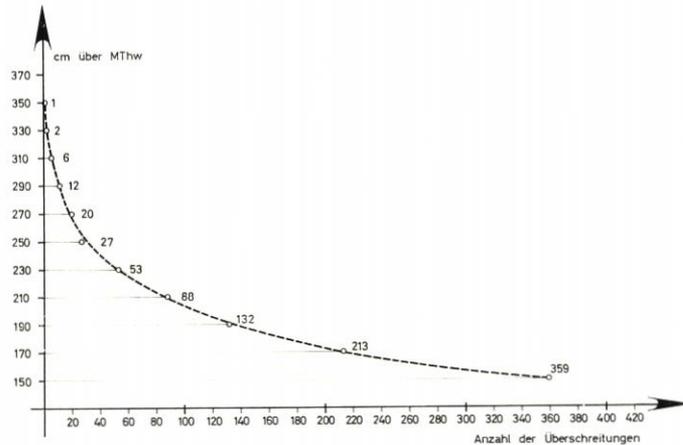


Abb. 6. Häufigkeit der Wasserstände von MThw + 1,50 m und mehr am Pegel Tönning von 1876 bis 1963

und mehr in der Zeit von 1916 bis 1963 auch erwarten läßt. Die Kurve für Büsum liegt unter der von Tönning. Bis etwa zur Häufigkeit $n = 0,07$ verlaufen in der halblogarithmischen Darstellung die Häufigkeitslinien für alle drei Pegel geradlinig. Diese Feststellung wird auch von HUNDT (1955) getroffen. Die Werte mit geringerer Häufigkeit unterliegen naturgemäß einer stärkeren Streuung. Dennoch ist es auffallend, daß bei drei Pegeln die Werte mit kleineren Häufigkeiten als $n = 0,07$ jeweils unterhalb der verlängerten Ausgleichslinien (in Abb. 7 punktiert) liegen. Die Häufigkeitslinien hätten demnach in ihren oberen Bereichen eine geringere Steigung (in Abb. 7 durch abgeknickte Linienzüge angedeutet). Der Wert für den 16. Februar 1962 für Büsum gehört eigentlich zu einer geringeren Häufigkeit als 0,02. Es ist Zufall, daß innerhalb der relativ kurzen Büsumer Beobachtungsreihe von 48 Jahren die Überschreitung von MThw + 330 cm eingetreten ist. Die größte Aussagekraft hat die Linie für Tönning, die einen Zeitraum von 88 Jahren exakt erfaßt. Gerade bei dieser Linie liegen aber die drei Punkte für die Überschreitung des MThw um 310 cm, 330 cm und 350 cm unterhalb der verlängerten Ausgleichsgeraden des Häufigkeitsbereiches von $n = 4$ bis $n = 0,1$. MThw + 310 cm wurde in Tönning in dem betrachteten Zeitraum von 88 Jahren sechsmal überschritten.

4. Häufigkeitsverteilung hoher Wasserstände über die einzelnen Monate des Jahres

LÜDERS (1936) bringt in seiner Arbeit „Die Sturmfluten der Nordsee in der Jade“ die Häufigkeitsverteilung der Sturmfluten über die einzelnen Monate des Jahres für den Beobachtungszeitraum von 1875 bis 1934. Seinen Untersuchungen legt er die Wasserstandshöhe MThw

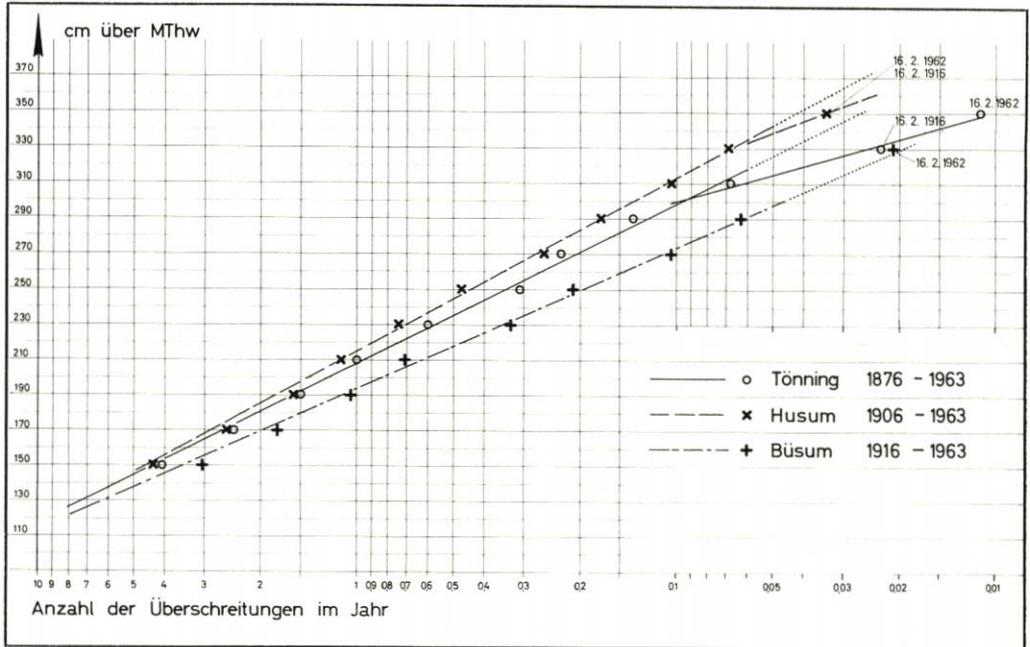


Abb. 7. Relative Häufigkeit der Wasserstände von MThw + 1,50 m und mehr an den Pegeln Tönning, Husum und Büsum (halblogarithmische Darstellung)

+ 1,20 m zugrunde. Dabei werden auch Vergleiche mit ähnlichen älteren Bearbeitungen für die Weser, Elbe und die gesamte südliche Nordsee angestellt. LÜDERS gibt die Häufigkeit in den einzelnen Monaten in Prozenten der Gesamtzahl der Sturmfluten an. Dabei ist die Häufigkeit im Dezember am größten, im Januar ist sie aber fast ebenso groß. Der Abfall im Februar ist sehr stark. Die von LÜDERS angeführten früheren Untersuchungen für andere Stromgebiete gehen zum Teil von ganz anderen Voraussetzungen aus. EILKER (1877) und HENNIG (1897) betrachten alle nur irgend bekannten Sturmfluten der südlichen Nordsee aus einem Zeitraum von 2000 bzw. 1000 Jahren. Auf diese Arbeiten wird in Abschnitt 5 noch näher eingegangen. Die anderen von LÜDERS zitierten Verfasser verwendeten Pegelbeobachtungen, die 1841, 1843 oder 1849 beginnen. Damals waren noch keine Schreibpegel in Betrieb, so daß die Beobachtungsreihen nicht alle hohen Wasserstände erfassen konnten. LÜDERS (1936) verwendet dagegen nur die Schreibpegelaufzeichnungen des Pegels Wilhelmshaven. Trotzdem „stimmt der Gang der prozentualen Verteilung der Sturmfluthäufigkeit auf die einzelnen Monate bei allen Reihen gut überein“.

In dem Aufsatz „Sturmfluten und Hochwassermarken“ (ROHDE 1964) wurde eine Häufigkeitsverteilung hoher Tidehochwasserstände über die einzelnen Monate des Jahres angegeben. Diesen Untersuchungen lagen die Schreibpegelaufzeichnungen des Pegels Tönning von 1876 bis 1963 zugrunde. Es wurde die Anzahl der Überschreitungen des Wasserstandes von NN + 3,00 m (PN + 800 cm) dargestellt. Die größte Häufigkeit trat im Dezember auf, im Oktober und November waren die Häufigkeiten untereinander fast gleich, aber wesentlich geringer als im Dezember. Der Abfall der Häufigkeitsverteilung war nach dem Maximum im Dezember sehr steil. In dem gleichen Diagramm war auch die Häufigkeitsverteilung für eine Überschreitung des Wasserstandes von NN + 4,0 m (PN + 900 cm) dargestellt. Die Häufigkeit war im Ok-

tober größer als im November und Dezember, Februar und März hatten gleiche Häufigkeiten.

In der Abbildung 8 der vorliegenden Arbeit ist für den Pegel Tönning die Anzahl der Überschreitungen der Wasserstände von $MThw + 1,50$ m, $MThw + 1,90$ m, $MThw + 2,30$ m und $MThw + 2,70$ m in den einzelnen Monaten angegeben. Die Diagramme für $MThw + 1,50$ m und $MThw + 2,70$ m entsprechen dem oben geschilderten Verlauf der Häufigkeitsverteilung für die Überschreitung des Wasserstandes von $PN + 800$ cm und $PN + 900$ cm. Das Maximum der Häufigkeit der Überschreitung vom $MThw + 2,70$ m im Oktober ist allerdings nur schwach ausgeprägt. In den Diagrammen für die Häufigkeit der Überschreitung von $MThw + 1,90$ m und $MThw + 2,30$ m sind je zwei Maxima vorhanden, das höhere jeweils im Dezember, das kleinere im Oktober. Das Häufigkeitsmaximum verschiebt sich also mit der Zunahme der Sturmflutschwellhöhe von Dezember nach Oktober. Die Häufigkeit im Februar ist bis $MThw + 2,70$ m immer sehr viel geringer als im Oktober, obwohl einige besonders schwere Sturmfluten im Februar stattfanden. Für die Folgerung, daß das Häufigkeitsmaximum der höchsten Sturmfluten im Februar liegt, ist aber die Zahl der vorliegenden Beobachtungen zu gering, der Beobachtungszeitraum ist noch zu kurz.

In Abbildung 9 sind die relativen Häufigkeiten für Tönning, Husum und Büsum angegeben. Im großen und ganzen ist die Häufigkeitsverteilung für die Wasserstände $MThw + 1,50$ m bei allen drei Pegeln sehr ähnlich. Bei Husum fällt lediglich die geringe Häufigkeit im Oktober auf. Wegen der zu kurzen vorliegenden Beobachtungsreihen für Husum und Büsum wurde eine Häufigkeitsverteilung für die Überschreitung der noch höheren Wasserstände über $MThw$ nicht angegeben. Die Abbildung 9 gestattet einen Vergleich mit der Arbeit von LÜDERS. Für die Jade gibt LÜDERS folgende Häufigkeit der Sturmfluten (Wasserstände über $MThw + 1,20$ m) in den einzelnen Monaten an:

Januar	20,05 %	Februar	10,96 %
März	7,53 %	April	2,53 %
Mai	0,63 %	Juni	1,25 %
Juli	0,31 %	August	1,88 %
September	7,53 %	Oktober	12,53 %
November	14,41 %	Dezember	20,39 %

Die Werte stimmen gut mit den in Abbildung 9 dargestellten Werten für die Westküstenpegel überein.

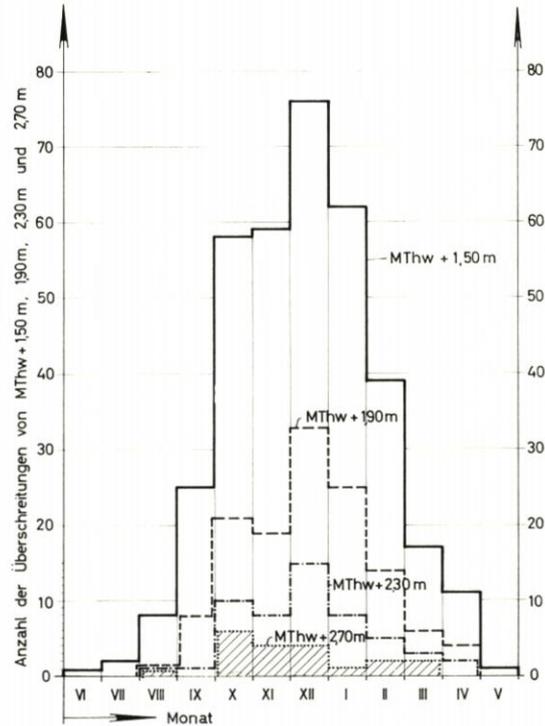


Abb. 8. Verteilung der Wasserstände von mehr als $MThw + 1,50$ m, $MThw + 1,90$ m, $MThw + 2,30$ m und $MThw + 2,70$ m über die Monate des Jahres. Tönning 1876 bis 1963

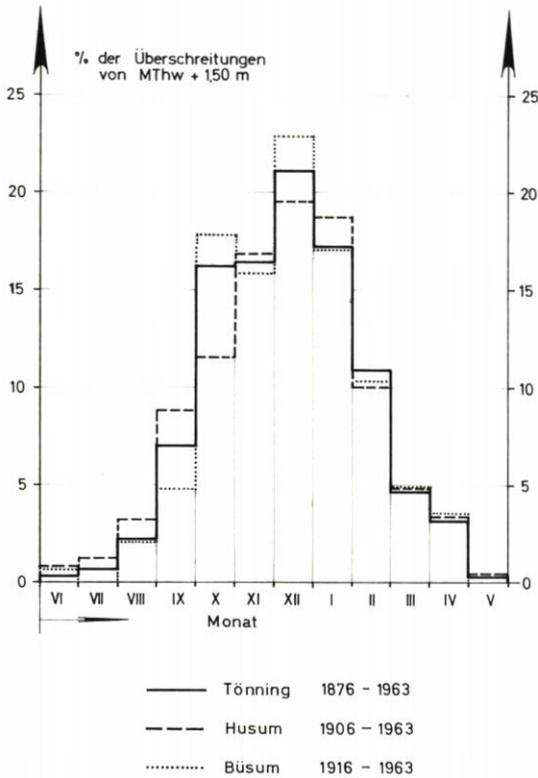


Abb. 9. Verteilung der Wasserstände von mehr als MThw + 1,50 m über die Monate des Jahres. Pegel Tönning, Husum, Büsum

Auch SINDOWSKI (1962) bringt ein Diagramm über die jahreszeitliche Häufigkeit der Sturmfluten. Seine Betrachtungen beginnen mit dem 12. Jahrhundert. Es wird nicht näher erläutert, welche Unterlagen bei der Aufstellung des Diagramms verwendet wurden. Ein Vergleich mit der Abbildung 9 oder mit den Angaben von LÜDERS, denen exakte Pegelaufzeichnungen zugrunde liegen, ist daher nicht möglich.

5. Häufigkeit hoher Fluten in früheren Jahrhunderten

Die vorhergehenden Abschnitte befaßten sich mit der Häufigkeit hoher Wasserstände an der Westküste während der letzten 88 Jahre. Für diesen Zeitraum liegen Schreibpegel-Aufzeichnungen vor. Über Sturmfluten in früheren Jahrhunderten finden sich nur Angaben in Chroniken. Da es früher noch keine regelmäßigen Wasserstandsbeobachtungen gab, sind die Aufzeichnungen in den Chroniken nicht nach den beobachteten extremen Sturmfluthöhen gemacht worden, sondern mehr nach den Schäden,

die die Sturmfluten anrichteten. Die Chronisten haben ihre Aufzeichnungen auch nach mündlichen Überlieferungen gemacht und aus älteren Chroniken abgeschrieben. Dadurch sind manche Daten ungenau, und es ergeben sich Widersprüche zwischen verschiedenen Chroniken, manche Sturmfluten werden mit verschiedenem Datum doppelt genannt. Die Überlieferung ist auch um so lückenhafter, je weiter die Chroniken zurückreichen. Trotzdem soll der Versuch gemacht werden, einige Aussagen über die Häufigkeit von Sturmfluten in früheren Jahrhunderten zu machen und Vergleiche mit der heutigen Sturmfluthäufigkeit anzustellen.

Bei der Durchsicht des Archivs der St.-Laurentius-Kirche in Tönning entdeckte der Verfasser ein altes Heft, das etwa das Format eines heutigen Schulheftes hat. Es enthält Berichte des Tönninger Organisten HASSE († 1728) über die Sturmfluten von 1717, 1718 und 1720/21. Etwa hundert Jahre später hat ein anderer, wahrscheinlich auch ein Tönninger Organist, einen kurzen Bericht über die Sturmflut vom Februar 1825 eingetragen (vgl. dazu den Aufsatz „Nachrichten über Sturmfluten früherer Jahrhunderte nach Aufzeichnungen Tönninger Organisten“ in dem vorliegenden Heft). Angeregt durch die schwere Sturmflut vom Februar 1825, die er miterlebte, hat sich der Verfasser des erwähnten kurzen Berichtes eingehend mit den Sturmfluten früherer Zeiten beschäftigt. Auf den letzten 29 Seiten des Heftes gibt er eine „kurze Beschreibung der hohen Fluthen und der dadurch entstandenen Überschwemmungen“. Es ist eine Zusammenstellung von Sturmfluten, beginnend mit dem Jahre 110 vor Christi Geburt bis zum 26. Januar 1794. Der Verfasser hat offenbar alle ihm zugänglichen Chroniken

und Berichte ausgewertet und zu seiner „Beschreibung“ zusammengestellt. Dabei werden zum Teil ausführliche Schilderungen besonders über die Schäden und die Verluste an Menschenleben, Vieh und Land gegeben. Einige Berichte werden in dem Aufsatz „Nachrichten über Sturmfluten früherer Jahrhunderte nach Aufzeichnungen Tönninger Organisten“ wiedergegeben. Der Verfasser der „Beschreibung“ hat sich bemüht, alle Sturmfluten früherer Jahrhunderte zu erfassen. Soweit es sich dabei um das Mittelalter bis etwa 1400 handelt, sind diese Angaben sehr lückenhaft und die Daten ungenau. Im 11. Jahrhundert werden drei, im 12. Jahrhundert acht, im 13. Jahrhundert vier, im 14. Jahrhundert aber schon fünfzehn Sturmfluten angegeben. Vom Beginn des 15. Jahrhunderts an führt der Verfasser eine solche Vielzahl von hohen Fluten auf, daß man annehmen kann, daß wohl die überwiegende Zahl der größeren Sturmfluten erfaßt ist. Dadurch gewinnt diese Zusammenstellung im Rahmen der Betrachtung über die Häufigkeit von Sturmfluten an der schleswig-holsteinischen Westküste Bedeutung.

Eine ähnliche Zusammenstellung ist auch von dem Deichinspector SALCHOW 1825 aufgestellt worden (FISCHER 1955). Diese im Landesarchiv Schleswig (A XVIII Nr. 6134) vorhandene Arbeit hat die Überschrift *Verzeichnis der größten Wasserfluthen, welche die Marschländer, besonders die Marschen des Herzogthums Schleswig bedrängt haben*. Als Vorbemerkung schreibt der Verfasser: „Aus den besten Quellen der beglaubigten Geschichte, besonders der vaterländischen, geschöpft von dem unterzeichneten Deichinspector, seit dem Antritt des Deichinspectorats im Jahre 1803 bis zum 20. Februar 1825.“ Unterzeichnet ist der Bericht „Husum, den 22. Februar 1825, SALCHOW“. Das Verzeichnis beginnt mit einer Sturmflut im Jahre 340 vor Christi Geburt. Die Angaben über die ersten Jahrhunderte sind auch recht lückenhaft. Im 11. Jahrhundert werden vier Fluten, im 12. Jahrhundert sechs, im 13. Jahrhundert neun und im 14. Jahrhundert fünf Fluten erwähnt. Ähnlich wie in der Tönninger Zusammenstellung bringt SALCHOW zu den einzelnen Sturmflutdaten noch einige Angaben über die angerichteten Schäden an Menschenleben und Gütern, die aber hier nicht betrachtet werden sollen. Die Zusammenstellung von SALCHOW ist ohne Angabe des Verfassers in der 1825 erschienenen Schrift „Denkmahl der Wasserfluth, welche im Februar 1825 die Westküste Jütlands und der Herzogthümer Schleswig und Holstein betroffen hat“ als Anhang abgedruckt.

Um zu zeigen, daß schwere Sturmfluten, wie die von ihm ausführlich beschriebene vom 11. Oktober 1634, nicht zu den Seltenheiten gehören, bringt GRAF BAUDISSIN (1876) in seinem Buch über die nordfriesischen Inseln eine Zusammenstellung der Sturmfluten von 1216 bis 1825. Auch er führt wesentlich weniger Sturmfluten an, als der Tönninger Organist. Meistens nennt er kein genaues Datum. Sehr viele Sturmfluten erwähnt auch C. P. HANSEN (1877) in der „Chronik der friesischen Uthlande“. WOEBCKEN (1924) bringt in seinem Werk „Deiche und Sturmfluten an der Nordseeküste“ auch eine Aufzählung der Sturmfluten früherer Jahrhunderte in chronologischer Reihenfolge. Bis auf wenige Ausnahmen sind die von ihm genannten Fluten in den beiden oben erwähnten Zusammenstellungen enthalten, zum Teil weichen die Daten geringfügig voneinander ab. Für das 15. Jahrhundert nennt WOEBCKEN acht, für das 16. Jahrhundert neun, das 17. Jahrhundert sieben und das 18. Jahrhundert sechs Fluten. Seine Aufzählung ist also auch wesentlich unvollständiger als die Tönninger Zusammenstellung. Auch FISCHER (1955) nennt im Rahmen seiner Ausführungen über Landgewinnung und Landerhaltung vielfach Sturmfluten in früheren Jahrhunderten.

Eine der Quellen, aus denen wohl alle genannten Verfasser geschöpft haben, ist die „Nordfriesische Chronik“ des Nordstrander Pastors M. ANTONIUS HEIMREICH (1666). Er führt eine sehr große Zahl von Sturmfluten an und gibt zu vielen auch ausführliche Beschreibungen. Die Chronik schließt mit dem Jahr 1663 ab. Seine Aufzeichnungen haben für das 17. Jahrhundert besondere Bedeutung, da HEIMREICH wohl die meisten dieser Fluten selbst miterlebt hat. Das gleiche gilt auch für die Schilderungen des Nordstrander Pastors MATTHIAS BOETIUS († 1625),

dessen Werk „De cataclysmo Nordstrandico“ im Jahre 1623 erschien. Er schildert hauptsächlich die Sturmfluten von 1612 bis 1617. (Die Übersetzung aus dem Lateinischen von SCHMIDT-PETERSEN [1931/33] ist im Schriftenverzeichnis angegeben.) HEIMREICH verweist gelegentlich auf BOETIUS. Schließlich soll noch das in plattdeutscher Sprache verfaßte „Chronicon Eiderostadense vulgare“ genannt werden, das den Zeitraum von 1103 bis 1547 umfaßt. Es soll zum größten Teil auf Aufzeichnungen des um 1555 gestorbenen JOHANN RUSSE beruhen. Diese Chronik, die in der Bearbeitung von JASPER (1923) benutzt wurde, führt auch eine Reihe von Sturmfluten auf. Besonders aus dem 17. Jahrhundert gibt es noch weitere Chroniken, auf die auch FISCHER (1955) hinweist und aus denen er Nachrichten über einige Sturmfluten anführt. Auch HEIMREICH erwähnt mehrfach andere Chronisten. Diese Quellen sind aber für die folgenden Ausführungen nicht herangezogen, weil sie nicht wesentlich mehr Sturmfluten als HEIMREICH nennen. Soweit FISCHER (1955) Angaben aus anderen Arbeiten macht, werden diese zum Vergleich herangezogen. R. HANSEN (1894) gibt in der Arbeit „Beiträge zur Geschichte und Geographie Nordfrieslands im Mittelalter“ für die Sturmfluten bis zum Ende des 15. Jahrhunderts eine eingehende Quellenkritik.

In der Tabelle 2 sind aus den genannten Quellen alle Sturmfluten, beginnend mit dem Jahre 1400, mit ihren Daten angegeben. Mit dem Jahre 1400 wurde begonnen, weil erst vom 15. Jahrhundert an die Quellen eine Vielzahl von Sturmfluten nennen, die auf weitgehende Vollzähligkeit schließen läßt. Außerdem waren die morphologischen Verhältnisse im 14. Jahrhundert an der Westküste noch ganz andere. Im 14. Jahrhundert traten in Nordfriesland die großen Landverluste ein, die Trichtermündung der Eider und die Meeresbucht Hever entstanden. Man kann annehmen, daß im 15. Jahrhundert die Küstenlinie der Westküste der heutigen sehr viel ähnlicher war, als in den noch weiter zurückliegenden Jahrhunderten. Darum sind Vergleiche zwischen der Sturmfluthäufigkeit früherer Jahrhunderte und der heutigen Zeit erst vom 15. Jahrhundert an sinnvoll.

In der Spalte 1 der Tabelle 2 sind die in der im Tönninger Kirchenarchiv gefundenen Zusammenstellung enthaltenen Sturmfluten aufgeführt, in Spalte 2 Sturmflutangaben aus anderen Quellen. Spalte 3 zeigt, in welchen der genannten sieben Quellen die verschiedenen Sturmfluten erwähnt sind. Es ergibt sich, daß die Tönninger Zusammenstellung von allen benutzten Quellen die umfassendste ist. Die meisten Sturmfluten der Tönninger Zusammenstellung werden auch in anderen Quellen erwähnt. Hinsichtlich der genauen Daten wird die Tönninger Zusammenstellung von anderen Quellen allerdings häufig ergänzt. Die meisten Angaben der Tönninger Zusammenstellung bis zum 19./20. Oktober 1663 werden auch von HEIMREICH gemacht. Besonders besteht hinsichtlich der Schilderungen einzelner Sturmfluten und der Aufzählung der Schäden eine weitgehende Übereinstimmung. Trotzdem ist nicht anzunehmen, daß der Tönninger Organist unmittelbar von HEIMREICH abgeschrieben hat, weil sonst manche Fehler nicht entstanden wären. Es ist eher zu vermuten, daß andere Abschriften und Auszüge aus HEIMREICH'S Chronik benutzt wurden. HEIMREICH'S „Nordfriesische Chronik“ dürfte aber doch die wesentliche Grundlage der Tönninger Zusammenstellung wie auch der Zusammenstellung von SALCHOW und wohl auch der Chronik von C. P. HANSEN sein.

In der Spalte „Bemerkungen“ der Tabelle 2 sind einige Hinweise auf unterschiedliche Datumangaben gemacht. Manche Sturmfluten sind sicher doppelt aufgeführt; soweit fehlerhafte Überlieferung wahrscheinlich erschien, wurden die betreffenden Daten in der Tabelle 2 eingeklammert. So war die Sturmflut im November 1412 nach HEIMREICH und Chronicon am Cäcilientag (22. November) und nicht am 8. November. Für 1431 erwähnt außer der Tönninger Handschrift keine andere Quelle eine Sturmflut. Die Schadensangaben entsprechen den für 1436 gemachten Angaben aber genau, so daß der Tönninger Bericht diese Flut wohl doppelt genannt hat. (Nach R. HANSEN stammt die Angabe für 1431 aus der Chronik des P. SAX.)

Tabelle 2

Zusammenstellung der Sturmfluten in früheren Jahrhunderten (1400 bis 1794)

Quellen: A. HEIMREICH	A
BAUDISSION	B
Chronicon Eiderostadense	C
C. P. HANSEN	H
SALCHOW	S
Tönninger Kirchenarchiv	T
WOECKEN	W

(-) Fluten bzw. Daten, die bei der Auszählung nicht berücksichtigt wurden

* Fluten, deren Daten nach dem gregorianischen Kalender in den folgenden Monat fallen

a) 15. Jahrhundert

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
	1400	S	
1404 19. November		H S T	
1405		A B S T	
1412 (8. November)	1412 am Cäcilientag* = 22. November	A C H S T	C spricht nur von großem Wind zu Cäcilien, nach A am 19. November oder 1. Dezember
1421 26. Dezember*		A C T W	
	1426 Michaelis* = 29. September	C W	
1426 26. Dezember*		A B T	A: oder am 28. Oktober
1427 Michaelis* = 29. September		A B C T	
1428 Michaelis* (1431 Allerheiligen = 1. November)		A B S T W T	nach W 4. Oktober wahrscheinlich mit der Flut von 1436 verwechselt
1434 St. Gallentag = 16. Oktober		A H S T	1. Gallenflut
	1435	S	
1436 Allerheiligen = 1. November		A B C H S T W	
1446 17. April (1460 Dreikönigstag = 6. Januar)		T T	Wahrscheinlich eine Verwechslung mit der in mehreren Quellen genannten Flut vom 6. Januar 1470
1470	1470 Dreikönigstag	A C S T	
1471	1471 Dreikönigstag	A C S T	
1474 (6. Oktober)	1474 16. Oktober	A H S T	2. Gallenflut
1476 16. Oktober		A B C H S T W	3. Gallenflut
1477 16. Oktober		A C H S T	4. Gallenflut
1479	1479 St. Barbaranacht = 4. Dezember	A C T W	
1480 (Johanni = 24. Juni)	1480 Walpurgis = 1. Mai	A T	Wahrscheinlich ein Schreibfehler von T
	1482	B	
	1483 Montags in der Fastenzeit = März	C	

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
1483 16. Oktober		A B C H S T	5. Gallenflut auch von BOETIUS erwähnt
	1483 Cäcilientag* = 22. November	A C	
1484	1484 Neujahrsnacht* = 31. Dezember	C T	
1491 6 Tage vor Michaeli = 23. September*	1491 23. September* (1492 vor Michaelis)	A B H S T C	nach B 16. September wahrscheinlich ist die Flut von 1491 gemeint
	1497	S	
	Nach der Tönninger Zusammenstellung dazu nach anderen Quellen	20 hohe Fluten 7 hohe Fluten	
	Gesamtzahl 15. Jahrhundert	27 hohe Fluten	

b) 16. Jahrhundert

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
1501	1501 16. Oktober	H S T	6. Gallenflut
1506		T	
1508 (1. Februar)		T	wahrscheinl. m. Brixenflut verwechselt
	(1508 16. Oktober)	H	
	1508 Briccius-Tag = 13. November	A C S W	Brixenflut
1509 (vor Weihnachten)	1509 Nicolai = 6. Dezember	A T	wahrscheinl. dieselbe Flut
1511	1511 Magnustag = 16. April	A B H S T W	nach W: 16. 1. 1511
1514	1514 Brigittentag = 1. Februar	A S T	
(1515)		S T	nach S nur in Holland
1518		T	
1521 (Freitag nach Lätare = 15. März)	1521 26. Februar*	A S T	wahrscheinl. dieselbe Flut
	1530 Allerheiligen = 1. November	H S W	nach W: 5. 11. 1530
1531 um Jacobi* = Ende Juli		A T	
1532 2. November		A B C H S T W	sehr schwere Katastrophenflut
1533 Montag vor Allerheiligen*	1533 Simon und Juda* = 28. Oktober	A B C S T	
1538 6. Dezember (1539 6. Dezember)		C T A S T	} wahrscheinlich ist mit 6. 12. 1538 und 1539 dieselbe Flut gemeint
1543		A S T	
1548	1547	A S A S T	

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
1550	1550 Dienstag nach St. Gallen = 21. Oktober	A S T	
1551		S T	
1552 (14 Tage vor Weihnachten)	1552 14 Tage vor Fastnacht = 14. Jan.	A T	wahrscheinlich ein Schreibfehler von T
1553		A S T	
1559 14. November	1559 nach Martini	A S T	
1561 27. Juli*		A B S T	
1570 5./6. November	1570 (Allerheiligen)	A B H S T W	
1571 Allerheiligen = 1. November		A H S T	
1573 21. August		A H S T W	Kornflut genannt
1574 22. od. 28. Jan.*	1574 Bekehrung des Paulus = 25. Januar*	A H S T	
1578 Mariä Verkündigung = 25. März*		T W	
1580 (9. Mai)	1580 1. Mai	A T	9. Mai wahrscheinlich Schreibfehler von T
(1582 8 Tage nach Allerheiligen = 9. November)		B T	wahrscheinlich nur für die Elbmündung
1583	(1584)	T S	nur für die Elbe bis Hamburg
1585 2. Februar		T	
	1588 Dezember	H	
1590 Dreikönigstag = 6. Januar		A H T	Eisflut
1593 24. Dezember*		A B H S T W	A: statt 1593 sagen andere 1594. Es ist anscheinend dieselbe Flut gemeint
	(1594 22. Dezember)	H S	
1595 Jacobi* = 25. Juli		H T	
1595 22. Dezember*		T	
1597 25. September*		A H S T	
	1599	B	
	Nach der Tönninger Zusammenstellung dazu nach anderen Quellen	33 hohe Fluten 4 hohe Fluten	
	Gesamtzahl 16. Jahrhundert	37 hohe Fluten	

c) 17. Jahrhundert

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
1602 14. Februar	(1601 im November)	A B S T W	Hohe Flut über Holland 3 Tage nach Neumond. Neumond war am 11. 2.
1610	1610 23. Januar*	A B H S T	

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
	1612 Bartholomäi = 24. August*	A	} nach BOETIUS können nur die Fluten v. 21. 10. u. 22. 12. als schwere Sturmfluten gelten
1612 21. Oktober	1612 14. September	A B H S A B H S T	
	1612 26. November*	A H S	
1615 1. Dezember	1612 22. Dezember*	A H S A B H S T W	
	1615 21. Dezember	H	auch von BOETIUS erwähnt, Hauptflut am 2. Dezember Die Flut drang in die Deichbrüche der Flut vom 1. 12. ein
1625 (30. Januar)	1616 30. Dezember*	BOETIUS	} wahrscheinlich dieselbe Flut A und auch H sprechen von einem starken NO- Sturm am 9./10. Febr. Demnach keine hohe Flut! Hohe Eisflut
	1617 2. Februar	BOETIUS	
(1625 19. Februar)	1625 20. Januar	A B H T	
		A H T	
1625 26. Februar*		A B H S T	} Von T wohl mit 1627 verwechselt
(1626 27./28. Oktober)	1625 20. März	B T	
1627	1627 27. Oktober*	A H S T	} S. u. T ohne Datum auch von FISCHER angeführt
1628	1628 26./29. Januar*	A B	
	1628 5.-7. September	B	
	1628 6. November	A S T	
	1628 16. Dezember	A B	
1629	1629 27. August*	A S T	} nach FISCHER wohl 6. Januar gemeint, aber A spricht von vernichte- ter Ernte! sehr schwere Katastrophenflut! eine erhöhte Flut
1630 6. Juni		A B H T	
1634 11. Oktober		A B H S T W	} nach FISCHER u. W 23. bzw. 24. Januar
1639 21. August	1635 20. Oktober	FISCHER A S T	
1643	1643 23./24. Januar*	B T W	} vermutlich dieselbe Flut gemeint } wahrscheinlich } dieselbe Flut
1648 14./15. Februar	(1651 29. Januar)	A T S	
1651 22. Februar*	(1651 23. Dezember)	A T W S	
1652 23. Dezember*		A T	} dieselbe Flut
1653 26./27. Dez.*		A T	
1655 4. August		A B H S T	} hohe Flut zur Ebbezeit nach A zwei hohe Fluten
1660 16. November	1657 20. Oktober	A	
1661 5. Januar	1659 30. November*	A B S A B S T A S	
1662 19./20. Februar*	1661 16./17. Januar	A B H S T A H	
	1662 11. bis 16. Nov.	A	

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
1663 19./20. Oktober (1665 5./6. Dezember)		A ST ST	nicht an der Westküste
1667 26. Januar*	1666 30. September* (1666 26. Januar)	S ST	wahrscheinlich dieselbe Flut
1679	(1682 5. Februar)	T S	nicht an der Westküste
(1692)	1685 24. November*	B H W T T T	nicht an der Westküste
1696			
1697 23. Juni*			
1699			
Nach der Tönninger Zusammenstellung dazu nach anderen Quellen		27 hohe Fluten 18 hohe Fluten	
Gesamtzahl 17. Jahrhundert		45 hohe Fluten	

d) 18. Jahrhundert

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
1701		B T	1701, 1702 und 1703 kamen nach T an Höhe 1634 gleich. Ob diese Bemerkung zutreffend ist, erscheint zweifelhaft.
1702		T	
1703	wahrscheinl. Dezember	B H T	
1710 Dienstag nach Trinitatis		B T	Nach H war im Dez. 1703 ein starker Sturm 17. Juni
1710 27. Juli		T	
	1714	B	
	1715 14. Februar	H	
1715 4. März		T	
1717 24./25. Dezember		B H S T W	
1718 25. Februar		B H S T	
	1718 im Herbst	B	Oktober angenommen
	1719 26. Mai	B	
1720 31. Dezember		B H T	2 Tage nach Neumond. Neumond war am 29. 12.
1721 1. Januar		T	
	1725	B	
1745 Karfreitag = 16. April		B T	
1747 2. Dezember		T	
1749 9. September		T	
1751 11. September		B H T W	
	1756 Februar	H	

Nach der Zusammenstellung im Tönninger Kirchenarchiv	nach anderen Quellen	Quellenangaben	Bemerkungen
1756 7. Oktober	1763	B H S T W	
	1769 21. August	B	
	1786 28. Juli	H	H: 1786 viele Stürme und Überschwemmungen
1791 22. März		B H S T W	
1792 10./11. Dezember		B H S T	3 Tage vor Neumond! Neumond war 13. 12. abends
1793 13. März		B H T	
1794 26. Januar		B H S T	
Nach der Tönninger Zusammenstellung dazu nach anderen Quellen		19 hohe Fluten	
		9 hohe Fluten	
Gesamtzahl 18. Jahrhundert		28 hohe Fluten	

Für den Dreikönigstag 1460 wird eine Flut mit ähnlichen Deichschäden genannt, wie HEIMREICH und CHRONICON sie für den Dreikönigstag 1470 angeben, dagegen erwähnt der Tönninger Bericht 1470 kein Datum. Die 1480 für Johanni und Walpurgis genannten Fluten dürften identisch sein. R. HANSEN hält die Fluten von 1431, 1460, 1470, 1477, 1480 und 1482 für Verdoppelungen. Übereinstimmend wird von CHRONICON, HEIMREICH und SALCHOW für St. Briccius 1508 (13. November) eine hohe Flut erwähnt. Der Tönninger Bericht datiert die Flut auf den 1. Februar, er hat wohl St. Briccius mit St. Brigida verwechselt. Auch die von C. P. HANSEN für den 16. 10. 1508 erwähnte Flut dürfte mit der „Brixenflut“ identisch sein. 1538 und 1539 nennt der Tönninger Bericht jeweils eine Flut am 6. Dezember. HEIMREICH nennt nur den 6. Dezember 1539, CHRONICON den 6. Dezember 1538. Auch diese Fluten dürften identisch sein. 1552 hat der Tönninger Bericht wohl 14 Tage vor Fastnacht mit 14 Tage vor Weihnachten verwechselt. Für 1593 schreibt HEIMREICH ausdrücklich: „An. 1593 (andere setzen 1594) ist auff Christ-Abend ein schrecklich Ungewitter entstanden . . . und sein daselbst die Teiche so sehr zerschlagen . . .“ Diese Flut haben SALCHOW und C. P. HANSEN wohl doppelt gezählt. Mit der Flut vom 19. Februar 1625 meint der Tönninger Bericht wohl den von HEIMREICH für den 9./10. Februar erwähnten NO-Sturm, bei dem es sicher keine hohe Flut gegeben haben kann. Die Fluten 27./28. Oktober 1626 und 27. Oktober 1627 sind wohl identisch, ebenso 29. Januar 1651 (SALCHOW) und 22. Februar 1651 (HEIMREICH, Tönninger Handschrift, WOEBCKEN), 23. Dezember 1651 und 1652, 26. Januar 1666 und 1667. Leider sind in jedem Jahrhundert einige Fluten ohne genaues Datum angegeben, nur die Jahreszahl ist überliefert. Einige Sturmfluten, die WOEBCKEN erwähnt, über die sich aber keine Angaben in den anderen Quellen für die Westküste finden, wurden nicht in die Tabelle aufgenommen, weil angenommen werden kann, daß es sich um Fluten handelt, die nur an der ostfriesischen Küste als schwere Sturmfluten bezeichnet werden können. Das gilt auch für einige Fluten, die nur SALCHOW oder nur BAUDISSION erwähnen und bei denen nur für andere Gegenden Schäden angegeben sind (z. B. BAUDISSION: „1504 ging die Gemeinde Herzhorn unweit Glückstadt fast ganz zugrunde“).

Wenn man unter Berücksichtigung der im vorigen Absatz genannten Berichtigungen die in den verschiedenen Quellen genannten Sturmfluten zusammenzählt, so sind im 15. Jahrhundert 27, im 16. Jahrhundert 37, im 17. Jahrhundert 45 und im 18. Jahrhundert 28 hohe Fluten erwähnt worden, die in der Tabelle 2 zusammengestellt sind. Es soll nun zunächst an-

genommen werden, daß die Tabelle 2 ein weitgehend vollständiges Verzeichnis der schweren Sturmfluten früherer Jahrhunderte darstellt. Nur die schweren Sturmfluten, bei denen meistens nennenswerte Schäden an den Deichen auftraten, Köge überflutet wurden und häufig auch hohe Verluste an Menschleben, Vieh und Gütern eintraten, wurden im allgemeinen in den Chroniken erwähnt. Aus Abbildung 7 läßt sich ablesen, welchen Wasserstand über MThw die Sturmfluten mit einer Häufigkeit, die der Häufigkeit der in Tabelle 2 genannten historischen Sturmfluten entspricht, heute überschritten hätten. Für das 15. Jahrhundert mit einer jährlichen Häufigkeit $n = 0,27$ beträgt dieser Wasserstand 2,4 m (Büsum) und 2,7 m (Husum). Für das 16. Jahrhundert mit einer Häufigkeit von $n = 0,37$ sind die entsprechenden Wasserstände 2,3 m und 2,6 m, für das 17. Jahrhundert ($n = 0,45$) 2,2 m und 2,5 m und für das 18. Jahrhundert ($n = 0,28$) 2,4 m und 2,7 m. Alle Sturmfluten mit einer derartigen Scheitelhöhe über MThw gehören auch heute zu den schweren Sturmfluten. Wenn heute nur bei wenigen sehr schweren Sturmfluten größere Schäden auftreten, so ist das dem Fortschritt der Technik zu verdanken. Die Deiche sind wehrhafter, das Warnsystem ist dank der modernen Nachrichtentechnik besser als in früheren Jahrhunderten. Es ist durchaus denkbar, daß früher schon Sturmfluten, deren Scheitel den Wasserstand MThw + 2,2 m oder 2,5 m überschritt, an vielen Stellen zu Deichbrüchen führten und große Schäden hervorriefen, die dann in den Chroniken genannt und über die Jahrhunderte überliefert wurden.

Die große Zahl der in Tabelle 2 aufgeführten „hohen Fluten“ ist wohl nicht übertrieben. Man kann eher annehmen, daß das Verzeichnis für einige Jahrhunderte noch unvollständig ist. So ist wohl die für das 15. Jahrhundert genannte relativ geringe Zahl an hohen Fluten darauf zurückzuführen, daß die Überlieferung lückenhaft ist. Im 16. und 17. Jahrhundert sind die Lücken naturgemäß geringer als in den noch älteren Zeiten. Besonders viele Sturmfluten werden im 17. Jahrhundert erwähnt. Aus dieser Zeit stammen gerade die besten Chroniken wie die von HEIMREICH und BOETIUS. Diese Quellen nennen z. B. für 1612 und 1628 jeweils eine größere Zahl von Sturmfluten in unmittelbarer Folge. Es ist nicht anzunehmen, daß es sich bei allen um wirklich „schwere Sturmfluten“ gehandelt hat. Das läßt sich für 1612 anhand der Berichte von BOETIUS nachweisen. Die Sturmflut am 14. 9. 1612 trat bei Süd Sturm ein und war wohl eine leichtere. BOETIUS erwähnt sie nur, weil dabei die neuerbaute Ilgrover Schleuse zerstört und dadurch der Koog überschwemmt wurde. Die von HEIMREICH erwähnten Sturmfluten vom 24. August und 26. November nennt BOETIUS nicht, wahrscheinlich waren sie nicht besonders schwer. Nur die Sturmfluten am 21. Oktober und 22. Dezember 1612, bei denen die hauptsächlichlichen Deichschäden eintraten, können wohl als „schwere Sturmfluten“ gelten.

Auffallend ist die relativ geringe Zahl der überlieferten Schadensfluten im 18. Jahrhundert. Sie ist vielleicht dadurch begründet, daß die Deichbautechnik im 18. Jahrhundert schon weiter fortgeschritten war als in den Jahrhunderten vorher. Für das 18. Jahrhundert dürfte in viel stärkerem Maße gelten, was HEIMREICH für die Deiche im 17. Jahrhundert im Vergleich zu früheren Jahrhunderten sagt: *„... daß die Teiche zu der Zeit gar niedrig und gering gewesen und die Leute sich auff dem Teichwesen nicht so wol verstanden wie itzunder“*. Manche Flut, die im 15., 16. und 17. Jahrhundert bemerkenswerte Schäden angerichtet hätte, konnte von den Deichen vollständig abgewehrt werden. Die Ursache dafür ist vielleicht die Tatsache, daß nach der „Jahrhundertflut“ des 18. Jahrhunderts, der „Weihnachtsflut“ von 1717, die schwere Schäden verursacht hatte, die Deiche mit großer Mühe und einem Aufwand von einem bisher nicht gekannten Maße wiederhergestellt wurden. Bemerkenswert ist, daß von 1701 bis 1725 fünfzehn Schadensfluten bekannt sind, wovon die schwersten zwischen dem 24. Dezember 1717 und dem 1. Januar 1721 lagen. Die nächste Flut wird erst 1745 erwähnt und von 1745 bis 1794 werden dreizehn Fluten genannt. Diese Tatsache läßt den Schluß zu, daß nach den schweren Fluten am Ende des zweiten Jahrzehnts des 18. Jahrhunderts

die Deiche so instand gesetzt wurden, daß in den folgenden achtzig Jahren nur etwa ebenso viele Fluten nennenswerte Schäden brachten als in den ersten zwanzig Jahren des Jahrhunderts. C. P. HANSEN erwähnt für die zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts sehr viel häufiger schwere Stürme als Deichbrüche und Überflutungen der Köge. Selbstverständlich ist es auch möglich, daß die geringe Anzahl von Sturmfluten, die in der Tabelle 2 für das 18. Jahrhundert aufgeführt sind, nur auf mangelhafte Überlieferung zurückzuführen ist oder daß tatsächlich im 18. Jahrhundert hohe Fluten relativ selten waren. Besonders hohe Fluten mit einer Häufigkeit von $n = 1$ im Jahrhundert waren die Fluten von 1634, 1717 und 1825. Nach den von HUNDT vorgenommenen Beschickungen liegen sie in ihrer Scheitelhöhe über MThw in der gleichen Größenordnung wie die Sturmflut von 1962. Die Flut von 1532 wird auch in dieser Höhe gelegen haben (FISCHER 1955).

An dieser Stelle müßte sich eigentlich eine Zusammenstellung der Sturmfluten des 19. Jahrhunderts anschließen. Von 1876 an liegen für den Pegel Tönning Schreibpegelaufzeichnungen vor, die alle hohen Wasserstände erfassen. Die Lattenpegelbeobachtungen des Zeitraumes von 1867 bis 1875 können, da es sich im allgemeinen nur um Tagesablesungen handelt, nur etwa 50% der hohen Wasserstände exakt erfassen. Abbildung 2 zeigt, daß hohe Wasserstände in der Zeit von 1876 bis 1899 keineswegs seltener waren als nach 1900. Es ist daher auch nicht anzunehmen, daß in den ersten 75 Jahren des 19. Jahrhunderts die Sturmfluten besonders selten gewesen sind. In den Chroniken finden sich nach 1825 aber sehr wenige Hinweise auf Sturmfluten. BAUDISSINS Verzeichnis schließt mit der Sturmflut von 1825 ab. SALCHOW erwähnt im 19. Jahrhundert folgende hohe Fluten: 1. Dezember 1821, 4. März 1822, 1. bis 6. Dezember 1823, 3. November 1824, 12. bis 14. November 1824 und 3./4. Februar 1825. C. P. HANSEN (1877) nennt Sturmfluten am 1. Dezember 1821, 4. Dezember 1823, 3./4. Februar 1825, 7./8. Juni 1839. Mehrfach erwähnt C. P. HANSEN schwere Stürme mit Schiffsuntergängen, aber nur selten Überschwemmungen und keine Deichbrüche. Für die Zeit vom 18. bis 20. Dezember 1862 führt er z. B. einen entsetzlichen Sturm, verbunden mit ungewöhnlichen Überschwemmungen an. Offenbar gilt für das 19. Jahrhundert noch mehr als für das 18. Jahrhundert, daß man nach der schweren „Jahrhundertflut“ (3./4. Februar 1825) die Deiche so instand gesetzt hat, daß selbst die schweren Sturmfluten keine Deichbrüche und schwere Deichschäden hervorrufen konnten. Diese Bemerkungen gelten jedoch nur für die eigentlichen Seedeiche, dagegen nicht für die Eiderdeiche oberhalb von Friedrichstadt! Wenn man versuchen wollte, für die Zeit von 1825 bis 1867 Häufigkeiten hoher Wasserstände zu ermitteln, müßte man alte Akten, die Provinzialberichte, Zeitschriften, wie z. B. das von N. FALCK herausgegebene „Neue Staatsbürgerliche Magazin“, und auch die Zeitungen durcharbeiten. In den „Notizen zur Chronik“ von H. SCHRÖDER (1836) finden sich u. a. einige Angaben über schwere Sturmfluten. Danach war in der Nacht vom 1. auf 2. November 1833 eine Sturmflut, die an der Westküste bedeutenden Deichschaden anrichtete. Noch höher soll die Flut am 17./18. Oktober 1834 gewesen sein. In der Nacht vom 18. auf 19. November 1835 entstanden an den Deichen in Dithmarschen und Eiderstedt Schäden, das Wasser drang in Tönning in Straßen und Häuser. Auch HENNIG (1897) weist auf das Fehlen einer lückenlosen Sturmflutstatistik für das 19. Jahrhundert bis 1876 hin.

Zum Schluß soll noch der Versuch gemacht werden, auf Grund der Angaben der Tabelle 2 eine Häufigkeitsverteilung hoher Fluten über die einzelnen Monate des Jahres anzugeben. Dabei konnten nur die Fluten verwendet werden, für die Zeitangaben vorhanden waren. Bei den Zeitangaben ist der Unterschied zwischen dem julianischen und gregorianischen Kalender zu beachten. Der heute gültige gregorianische Kalender wurde im protestantischen Teil Deutschlands erst mit dem 1. März 1700 eingeführt. Bei der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der Sturmfluten über die Monate müssen die Zeitangaben vor 1700 auf den gregorianischen Kalender umgerechnet werden. Alle Daten sind im 16. und 17. Jahrhundert um 10, im 15.

Jahrhundert um 9 Tage vorzudatieren. Soweit die Sturmfluten dadurch in den nächstfolgenden Monat rücken sind sie in der Tabelle 2 mit * bezeichnet. Unter Berücksichtigung dieser Verschiebungen ist in Tabelle 3 die Verteilung der hohen Fluten über die Monate des Jahres für jedes der vier Jahrhunderte angegeben. Dabei ist auch erwähnt, wie viele Fluten nicht berücksichtigt werden konnten. Insgesamt sind es 22 Fluten oder 16%, für die kein Datum angegeben war. Diese 22 Fluten wurden auf die einzelnen Monate in dem Verhältnis verteilt, wie hohe Fluten für die betreffenden Monate mit Datum bekannt sind. Das Ergebnis ist in der untersten Zeile als „verbesserte Summe“ angegeben.

Tabelle 3

Verteilung der hohen Fluten früherer Jahrhunderte über die Monate des Jahres

Monat:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ohne Datum	Summe
15. Jahrhundert	5	—	1	1	1	—	—	—	—	9	2	3	5	27
16. Jahrhundert	4	3	1	2	1	—	—	3	1	3	7	3	9	37
17. Jahrhundert	7	7	4	—	—	1	1	2	4	6	4	6	3	45
18. Jahrhundert	2	3	3	1	1	1	2	1	2	2	—	5	5	28
Summe	18	13	9	4	3	2	3	6	7	20	13	17	22=16%	137
Verbesserung	+3	+3	+2	+1	0	0	+1	+1	+1	+4	+3	+3	—	22
verbesserte Summe	21	16	11	5	3	2	4	7	8	24	16	20		

In der graphischen Darstellung Abbildung 10 ist die Häufigkeitsverteilung über die Monate für das 15., 16., 17. und 18. Jahrhundert zusammen dargestellt. Die gestrichelte Linie gibt die „verbesserte Summe“ an. Die größte Häufigkeit ist im Monat Oktober vorhanden, ein zweites, aber etwas niedrigeres Maximum tritt im Dezember/Januar auf. Im Februar ist die Häufigkeit geringer als im Oktober und Dezember. Es ist eine gewisse Ähnlichkeit dieses Diagramms mit dem Diagramm festzustellen, das in Abbildung 8 für die Überschreitung von MThw + 2,30 m dargestellt ist. Diese Ähnlichkeit spricht dafür, daß die Tabelle 2, die als eine weitgehend vollständige Aufzählung von historischen hohen Fluten an der Westküste gelten kann, zugleich als eine Zusammenstellung von Sturmfluten mit einer Scheitelhöhe von mehr als etwa MThw + 2,3 m in den früheren Jahrhunderten anzusehen ist. Die Ähnlichkeit besteht in dem starken Anstieg im Oktober, den zwei Maxima der Häufigkeit im Oktober und Dezember sowie der geringeren Häufigkeit im November im Vergleich zum Oktober und Dezember. Im Diagramm der Abbildung 8 für MThw + 2,30 m ist das Maximum im Dezember allerdings etwas höher als im Oktober. Eine genaue Übereinstimmung der Darstellung von Abbildung 10 mit der von Abbildung 8 ist aber auch nicht zu erwarten. Es sind die nicht datierten Fluten, die rund 16% der in Tabelle 2 aufgeführten Fluten ausmachen, ziemlich willkürlich auf die einzelnen Monate verteilt. Sicher sind auch nicht alle

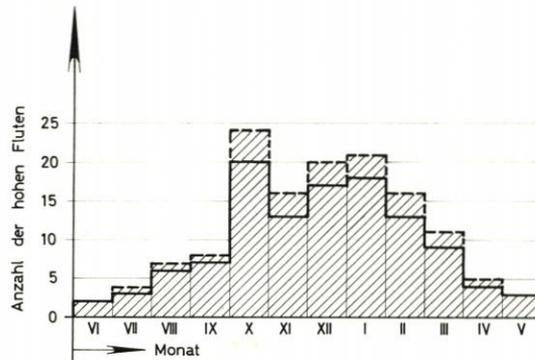


Abb. 10. Verteilung der Schadensfluten des 15., 16., 17. und 18. Jahrhunderts über die Monate des Jahres

Fluten erfaßt, die Zahl für das 15. Jahrhundert ist wahrscheinlich unvollständig, und im 18. Jahrhundert fehlen einige Fluten, die an Höhe wohl den Fluten der vorhergehenden Jahrhunderte gleichkamen, aber keinen Schaden anrichteten.

Untersuchungen über die monatliche Verteilung von Sturmfluten in früheren Jahrhunderten werden auch von HENNIG (1897) und EILKER (1877) angestellt. Die Ergebnisse sind aber nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zu vergleichen, da sie von ganz anderen Voraussetzungen ausgehen. HENNIG zieht alle datierten Sturmfluten vom Jahre 807 nach Chr. bis 1895 heran. Dabei können seine Angaben für die Zeit vor 1400 bei weitem nicht vollständig sein, sondern enthalten nur eine zufällige Auswahl. Er betrachtet auch die gesamte Nordsee und nicht ein einzelnes Küstengebiet. Schließlich führt er vielfach für unmittelbare Folgen von Tagen mehrere „Sturmfluten“ auf, z. B. allein für die Zeit vom 6. bis 12. Dezember 1792 sieben hohe Fluten. Sehr wahrscheinlich waren alle Tiden in dieser Sturmperiode erhöht, aber wohl nur eine kann als „schwere Sturmflut“ mit einem Wasserstand von mehr als 2,3 m über MThw gelten. (Vgl. dazu die Angaben aus dem Tönninger Kirchenarchiv in dem Aufsatz von ROHDE in diesem Heft der „Küste“ und den Hinweis auf C. P. HANSEN.) So ist es verständlich, daß HENNIG zu einer ganz anderen monatlichen Verteilung kommt, das Häufigkeitsmaximum liegt bei ihm im November ($n = 117$). Für Oktober gibt er 78 Fluten an, für Dezember 112 und Januar 100. Ein zweites Maximum im Februar, wie es SINDOWSKI (1962) anführt, kennt er jedoch auch nicht.

Auch EILKER benutzt für seine Zusammenstellung alle aus der Literatur bekannten Sturmfluten, davon allein 103 Fluten vor dem Jahre 1400, die nur eine unvollständige Auswahl darstellen können. Für den Zeitraum von 1800 bis 1850 führt er 32 hohe Fluten an, auch er betrachtet die gesamte Nordsee. So kommt auch er zu einer Verteilung, bei der das Häufigkeitsmaximum im November liegt ($n = 53$). 41 Sturmfluten fallen in den Januar, 34 in den Dezember, 27 in den Oktober. Es ist auch nicht ersichtlich, ob EILKER den Unterschied zwischen dem julianischen und gregorianischen Kalender berücksichtigt hat.

6. Zusammenfassung

Der älteste Schreibpegel an der Westküste ist der Pegel Tönning, er ist deshalb für Häufigkeitsuntersuchungen am besten geeignet. Da in der vorliegenden Arbeit die Häufigkeit der Überschreitung bestimmter hoher Wasserstände über MThw betrachtet werden sollte, war es erforderlich, zunächst die Veränderung des MThw zu untersuchen. Für die drei wichtigen Westküstenpegel Büsum, Tönning und Husum, die als Lattenpegel seit 1867 in Betrieb sind, wurden daher die Ganglinien der übergreifenden 19jährigen Mittel gebildet. Sie laufen bis etwa 1915/33 ungefähr parallel mit einer Steigung von etwa 0,3 cm/Jahr. Von diesem Zeitpunkt an verlaufen die Ganglinien für Büsum und Husum erheblich flacher, während die Ganglinie für Tönning infolge des Einflusses der Eiderabdämmung steil ansteigt. Für die Häufigkeitsuntersuchungen wurden die Ausgleichslinien ermittelt. Der Einfluß der Eiderabdämmung kommt durch einen Sprung in der Ausgleichslinie für Tönning im Jahr 1936 zum Ausdruck. Da die Ganglinien der 19jährigen Mittel seit etwa 30 Jahren viel flacher verlaufen als in der Zeit von 1870/88 bis 1915/33 ist es nicht sinnvoll, eine einzige Ausgleichslinie für jeden Pegel zu ermitteln und diese womöglich noch über größere Zeiträume zu extrapolieren. Die seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts beobachtete Hebung des Meeresspiegels scheint, wenn man die drei Pegel Büsum, Tönning und Husum betrachtet, abzuklingen. Das Abklingen des Anstiegs des MThw kann natürlich auch vorübergehend sein und von einem stärkeren Anstieg abgelöst werden. Eine Weiterführung der Beobachtungen ist unerläßlich. Es wäre wertvoll, wenn diese

Feststellung an einem von Küsteneinflüssen weitgehend unabhängigen Pegel nachgeprüft werden könnte. Am geeignetsten wäre dazu hinsichtlich seiner geographischen Lage der Pegel Helgoland. Leider sind die Aufzeichnungen dieses Pegels sehr lückenhaft. Der Pegel wurde 1909 eingerichtet, Aufzeichnungen sind aber erst für 1916 und 1917 vorhanden und dann erst wieder ab 1924. Von 1945 bis März 1952 war der Pegel ebenfalls außer Betrieb.

Die Häufigkeit der Überschreitung des Wasserstandes MThw + 1,50 m hat für Tönning von 1876/94 bis 1945/63 im Mittel abgenommen, das gleiche gilt für Husum von 1906/24 bis 1945/63 und Büsum von 1916/34 bis 1945/63. Die Häufigkeit der Überschreitung des festen Horizontes PN + 800 cm (= 1,50 m über MThw 1956/60) hat am Pegel Tönning von 1876/94 bis 1945/63 zugenommen. Diese Zunahme ist eine Folge des säkularen Anstiegs des MThw. Für die drei Pegel Büsum, Tönning und Husum werden Häufigkeitskurven für die Überschreitung der Wasserstände von MThw + 1,50 m bis MThw + 3,50 m angegeben.

Die jahreszeitliche Verteilung der hohen Wasserstände wird untersucht. Die Ergebnisse entsprechen denen von LÜDERS (1936) für die Jade, sie lassen sich mit den Angaben von SINDOWSKI (1962) nicht vergleichen. Am häufigsten wird der Wasserstand MThw + 1,50 m im Dezember überschritten, dann folgen Januar, Oktober und November. Die Verteilungskurve ist nicht symmetrisch, die Kurve ist im Herbst fülliger, der Abfall in den ersten Monaten des Jahres steiler. Bei den Überschreitungshäufigkeiten von MThw + 1,90 m und MThw + 2,30 m sind im Dezember und Oktober Maxima vorhanden. Die Überschreitung von MThw + 2,70 m ist im Oktober am größten.

Durch Auswertung von zwei im Jahre 1825 unabhängig voneinander entstandenen Zusammenstellungen hoher Fluten früherer Jahrhunderte und verschiedener Angaben aus dem Schrifttum, wird versucht, eine Aussage über Häufigkeit und Höhe von Sturmfluten im 15., 16., 17. und 18. Jahrhundert zu machen. Die Häufigkeitsverteilung über die verschiedenen Monate ähnelt für die genannten vier Jahrhunderte der für die letzten 88 Jahre für Tönning aufgestellten Verteilungskurve für die Überschreitung von MThw + 2,30 m. Vergleiche mit den Arbeiten von HENNIG (1897) und EILKER (1877) sind nicht möglich.

7. Schriftenverzeichnis

- BAUDISSION, GRAF A.: Blicke in die Zukunft der Nordfriesischen Inseln und der schleswigischen Festlandküste. Schleswig 1876.
- BOETIUS, M.: Denkwürdigkeiten von Sturmfluten, welche Nordstrand betroffen haben. (Übersetzung aus dem Lateinischen.) Jahrbuch des nordfriesischen Vereins für Heimatkunde, 1931, 1932 und 1933.
- EILKER, G.: Die Sturmfluten in der Nordsee. Emden 1877.
- FISCHER, O.: Landgewinnung und Landerhaltung in Schleswig-Holstein, Band 3: Eiderstedt, Band 7: Hydrographie des Küstengebiets. Berlin 1955.
- GAYE, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzten 100 Jahren. Die Wasserwirtschaft, Sonderheft 1951.
- HANSEN, C. P.: Chronik der friesischen Uthlande. Garding 1877.
- HANSEN, R.: Beiträge zur Geschichte und Geographie Nordfrieslands im Mittelalter. Zeitschrift der Gesellschaft für Schleswig-Holsteinische Geschichte. 1894.
- HEIMREICH, A.: Nordfriesische Chronik. Schleswig 1666.
- HENNIG, R.: Untersuchungen über die Sturmfluten der Nordsee. Diss. Berlin 1897.
- HENSEN, W.: Über die Ursachen der Wasserstandshebung an der deutschen Nordseeküste. Die Bautechnik, H. 1, 1938.
- HUNDT, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste, 1955.
- JASPER, J.: Chronicon Eiderostadense vulgare (1103-1547). Garding 1923.
- LÜDERS, K.: Die Sturmfluten der Nordsee in der Jade. Die Bautechnik H. 13 und 15, 1936.

- LÜDERS, K., LIESE, R. und KRAMER, J.: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im niedersächsischen Küstengebiet. Die Küste H. 1, 1962.
- o. V.: Denkmahl der Wasserfluth, welche im Februar 1825 die Westküste Jütlands und der Herzogthümer Schleswig-Holstein betroffen hat. Tondern 1825.
- ROHDE, H. und TIMON, A.: Die Versandung der Eider. Fortsetzung der Untersuchungen und künstlicher Spülbetrieb. Die Wasserwirtschaft, H. 6 u. 8, 1963.
- ROHDE, H.: Sturmfluten und Hochwassermarken. Wasser und Boden, H. 8, 1964.
- ROHDE, H.: Nachrichten über Sturmfluten früherer Jahrhunderte nach Aufzeichnungen Tönninger Organisten. Die Küste 1964.
- SHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein. Die Küste, H. 1, 1952.
- SCHRÖDER, H.: Notizen zur Chronik. Neues Staatsbürgerliches Magazin IV, 1836.
- SINDOWSKI, K. H.: Nordseevorstöße und Sturmfluten an der Ostfriesischen Küste seit 7000 Jahren. Geographische Rundschau 14, 1962.
- WOEBCKEN, C.: Deiche und Sturmfluten an der Nordseeküste. Bremen-Wilhelmshaven 1924.

Nachrichten über Sturmfluten früherer Jahrhunderte nach Aufzeichnungen Tönninger Organisten

Von Hans Rohde

Inhalt

1. Vorbemerkungen	113
2. Berichte über einzelne Sturmfluten	
a. Bis zum Ende des 14. Jahrhunderts	114
b. Im 15. bis 17. Jahrhundert	115
c. Im 18. Jahrhundert	118
3. Die Februar-Sturmflut 1825 und die Rekonstruktion der Scheitelhöhen einiger historischer Sturmfluten	126
4. Zusammenfassung	131
5. Schriftenverzeichnis	131

1. Vorbemerkungen:

In der Arbeit „Die Häufigkeit hoher Wasserstände an der Westküste von Schleswig-Holstein“ in dem vorliegenden Heft der „Küste“ wird die Entdeckung eines alten Heftes im Archiv der St.-Laurentius-Kirche in Tönning erwähnt, in dem einige Nachrichten über Sturmfluten in früheren Jahrhunderten aufgezeichnet sind. Auf den ersten dreieinhalb Seiten des Heftes wird eine Schilderung der Kapitulation der schwedischen Truppen nach der Belagerung der Festung Tönning im Jahre 1713 gegeben. Dann folgt auf eineinhalb Seiten ein Bericht, der die Überschrift trägt *Eine gründliche Nachricht von der Wasserfluth, welches Ao 1717 den 24. Decembris ich hier belebet habe*. Dieser Bericht ist, wie man der Unterschrift entnehmen kann, von dem Organisten JOHANN HASSE im Jahre 1724 geschrieben worden. JOHANN HASSE, aus Rostock gebürtig, wirkte von 1681 bis 1727 als Organist an der Tönninger St.-Laurentius-Kirche. Er starb im Januar 1728 in Tönning und ist dort am 2. Februar 1728 beerdigt worden. Seine Aufzeichnungen haben deshalb besondere Bedeutung, weil es sich hier um Augenzeugenberichte über die berühmte Weihnachtsflut von 1717 und die folgenden Sturmfluten handelt¹⁾.

Etwa 100 Jahre nachdem JOHANN HASSE seine Eintragungen in das alte Heft abgeschlossen hatte, hat ein anderer wiederum in das Heft geschrieben. Unter der Überschrift „Tönning vom 3. und 4. Februar 1825“ ist eine kurze Nachricht über die Sturmflut zu lesen. Auch dieser Bericht ist ein Augenzeugenbericht. Es ließ sich nicht feststellen, von wem er geschrieben wurde, denn er trägt keine Unterschrift. Zu vermuten ist, daß ihn ebenfalls ein Organist der St.-Laurentius-Kirche verfaßt hat, der den Bericht seines Vorgängers HASSE in den Papieren im Organistenhaus gefunden hat. In der Zeit von 1818 bis 1858 war der Organist JOHANN PEERS in Tönning tätig. Er könnte vielleicht der Verfasser des genannten Berichtes sein. Angeregt durch die schwere Sturmflut vom Februar 1825 hat er sich dann noch eingehend mit den Sturmfluten früherer Jahrhunderte beschäftigt. Auf den letzten 29 Seiten des Heftes gibt er unter der Überschrift *Kurze Beschreibung der hohen Fluthen und der dadurch entstandenen Überschwem-*

¹⁾ Auch andere historisch wertvolle Berichte stammen von HASSE. So befindet sich im Tönninger Kirchenarchiv von ihm eine Schilderung der Beschießung von Tönning und der Zerstörung der Kirche im Jahre 1700. Die Schreibweise des Namens ist unterschiedlich: Hasse, Haße oder Haß.

mungen eine Zusammenstellung der Sturmfluten vom Jahre 110 vor Christi Geburt bis zum 26. Januar 1794.

Während es sich bei den Berichten von HASSE und der Nachricht von 1825 um Augenzeugenberichte handelt, sind die in der Beschreibung zusammengestellten Berichte verschiedenen Quellen entnommen. Der Verfasser gibt leider nicht an, aus welchen Quellen die Angaben stammen. Wie schon in der Arbeit über die Häufigkeit hoher Wasserstände an der Westküste von Schleswig-Holstein erwähnt, enthält die Zusammenstellung aus dem Tönninger Kirchenarchiv eine wesentlich größere Zahl von Sturmfluten als eine etwa zur gleichen Zeit entstandene Zusammenstellung des Deichinspectors SALCHOW (Landesarchiv Schleswig A XVIII Nr. 6134). Auch andere, später entstandene Arbeiten wie von BAUDISSIN (1876) und WOEBCKEN (1924) sowie die sehr eingehende „Chronik der friesischen Uthlande“ von C. P. HANSEN (1877) nennen wesentlich weniger Sturmfluten als die Tönninger Zusammenstellung. Die Zusammenstellung des Tönninger Organisten dürfte ebenso wie die von SALCHOW und die Chronik der friesischen Uthlande zu einem wesentlichen Teil auf die „Nordfriesische Chronik“ von A. HEIMREICH (1666) zurückgehen. In der Tabelle 2 der Arbeit über die Häufigkeit hoher Wasserstände ist angegeben, in welchen Quellen über einzelne Sturmfluten berichtet wird. Es zeigt sich, daß die meisten in der Tönninger Zusammenstellung aufgeführten Fluten auch von HEIMREICH erwähnt werden. Im Inhalt decken sich die einzelnen Berichte weitgehend. Einige Abweichungen in den Zeitangaben und einige Doppelerwähnungen in dem Tönninger Bericht lassen aber die Vermutung zu, daß es sich nicht um unmittelbare Abschriften aus der HEIMREICHschen Chronik handelt. Wahrscheinlich sind Auszüge und Abschriften der „Nordfriesischen Chronik“ benutzt worden. Möglicherweise hat sich die Bearbeitung der Tönninger Zusammenstellung soweit hinausgezögert, daß dem Verfasser schon das erstmalig 1829 im „Staatsbürgerlichen Magazin“ abgedruckte „Chronicon Eiderostadense vulgare“ (JASPER 1923) zur Verfügung gestanden hat. Jedenfalls liegt den Aufzeichnungen des Tönninger Organisten nicht allein HEIMREICHs „Nordfriesische Chronik“ zugrunde.

Besondere Bedeutung hat die Tönninger Handschrift für die Sturmfluten *nach* 1663. Bis zu diesem Jahr ist die Chronik von HEIMREICH geführt. Die Tönninger Zusammenstellung führt von 1665 bis 1794 mehrere Sturmfluten an, die in anderen Arbeiten wie BAUDISSIN, C. P. HANSEN und SALCHOW nicht erwähnt werden. Einige Berichte aus dem 18. Jahrhundert bringen weitergehende Einzelheiten als die Arbeiten der genannten anderen Verfasser. In den folgenden Abschnitten sollen einige Sturmflutberichte aus der Tönninger Zusammenstellung im Wortlaut wiedergegeben werden. Für die Zeit bis 1663 werden vorwiegend Berichte über solche Sturmfluten angeführt, die HEIMREICH nicht erwähnt. Bei einigen anderen wird in Fußnoten auf Unterschiede zu HEIMREICH hingewiesen. Die Nachrichten über Sturmfluten von 1663 bis 1794 sind in ihrer Gesamtheit wiedergegeben. Dabei werden Vergleiche mit entsprechenden Sturmflutberichten anderer Autoren gezogen. Zum Schluß wird auf die Sturmflut vom 3./4. Februar 1825 eingegangen und für Tönning werden die Scheitelhöhen einiger historischer Sturmfluten rekonstruiert. Eine Fotokopie der Tönninger Handschrift ist der Bibliothek des Küstenausschusses Nord- und Ostsee zur Verfügung gestellt worden.

2. Berichte über einzelne Sturmfluten

a) Bis zum Ende des 14. Jahrhunderts

Die Fluten, die HEIMREICH von 1020 bis 1277 nennt, führt auch die Tönninger Beschreibung an. Dabei werden die gleichen Einzelheiten erwähnt, die auch HEIMREICH bringt. Es fehlt

lediglich die von HEIMREICH aufgeführte Flut von 1287. Für das 14. Jahrhundert nennt der Tönninger Bericht im ganzen 15 Fluten. Mit Ausnahme einer Sturmflut im Oktober 1334 und einer um Johannis 1393 werden sie auch mit allen Einzelheiten von HEIMREICH beschrieben. Der Bericht über die Flut von 1334 bezieht sich aber mehr auf Schäden in Holland und Flandern. Die Nachricht über die Fluten von 1380 bis 1395 lautet:

- 1380 *Im Jahr 1380 im Mai ist eine sehr große Fluth gewesen, die auch mit dem Namen Mandrenke belegt ist, und hat unter andern auch Nordstrand berührt.*
 1382 *Gleichfalls 1382²⁾. Im Jahr 1387 um Johannis³⁾ ist das Wasser
 1387 sehr hoch gewesen und sind viele Menschen und Vieh ertrunken.*
 1391 *Im Jahr 1391 auf Maitag, 1393 um Johannis und 1395 sind gleich-
 1393 u. 1395 hohe Fluthen gewesen.*

Nach HEIMREICH und ebenso nach der Tönninger Zusammenstellung sind im 14. Jahrhundert einige sehr schwere Sturmfluten gewesen, am 16. Januar 1300, 1316, 1338, 31. Dezember 1354, 8./9. September 1362⁴⁾. Mehrere Fluten haben den Namen „Mandrenke“ erhalten. Den Sturmfluten von 1300 und von 1338 wird die Trennung der Länder Dithmarschen, Eiderstedt und Nordstrand und das „Aufreißen“ des Eiderstromes zugeschrieben. Diese Katastrophen sowie den Untergang Rungholts datiert man im allgemeinen auf den 16. Januar 1362, der aber von HEIMREICH, dem Tönninger Bericht und auch C. P. HANSEN nicht erwähnt wird. R. HANSEN (1894) beschäftigt sich eingehend mit der Datierung der Sturmflut 1362. Tatsache ist wohl, daß im 14. Jahrhundert mehrere Katastrophenfluten eingetroffen sind, bei denen Nordfriesland besonders große Landverluste erlitt. Diese Anschauung wird auch von DITTMER (1960) vertreten, der in seiner Arbeit „Neue Beobachtungen und kritische Bemerkungen zur Frage der ‚Küstensenkung‘“ über die Katastrophe von 1362 schreibt: „Sicherlich hat es sich auch um eine außergewöhnliche Sturmflut gehandelt, sicher ist auch nicht alles in einer einzigen Nacht untergegangen.“ Wirkliche Originalberichte über die Sturmflut von 1362 gibt es nicht. Alle Berichte über die Sturmflut von 1362 sind erst Jahrhunderte später aufgezeichnet worden (TÖDT 1963). Man sollte daher das Sturmflutdatum 16. Januar 1362 mehr als ein Symbol für die schweren Sturmfluten des 14. Jahrhunderts werten, in denen in Nordfriesland derartig große Landverluste eingetreten sind, daß die Nordsee bis zur Geest vordringen konnte.

b) Im 15. bis 17. Jahrhundert

Abweichend von HEIMREICH bringt die Tönninger Handschrift Berichte über Fluten in den Jahren 1404, 1431, 1460, 1484, 1501, 1506, 1515, 1518, 1551, 1578, 1582, 1583, 1585, 1595, 1643, die hier unter anderem im Wortlaut angegeben werden sollen:

- 1404 *Im Jahr 1404 den 19. November war eine hohe Fluth, die Land und Leute mit großer Gewalt und mit großen Krachen überfallen hat⁵⁾.*

²⁾ HEIMREICH nennt den 1. Mai 1380 und die „letzte Jahresnacht“ 1382. Den Namen Mandrenke für die Flut von 1380 erwähnt er nicht.

³⁾ HEIMREICH nennt Walpurgis 1387. Auch für 1480 verwechselt der Tönninger Bericht Walpurgis und Johannis (vgl. Tabelle 2 der Arbeit „Häufigkeit hoher Wasserstände“).

⁴⁾ Auch C. P. HANSEN führt als sehr schwere Fluten 16. Januar 1300, 31. Dezember 1354 und 8./9. September 1362 an. Dabei nennt er außer HEIMREICH noch andere Quellen. R. HANSEN (1894) vertritt die Ansicht, daß die Flut von 1354 nicht stattgefunden hat.

⁵⁾ C. P. HANSEN: „Im Jahre 1404 am Elisabethtag aber wieder eine Sturmfluth.“

- 1431 *Im Jahr 1431 um Allerheiligen um Mitternacht war eine erschreckliche Fluth, worin zu Tetenbüll (Dorf in Eiderstedt, d. Verfasser) 186 Menschen ertrunken sind.*
- 1436 *Im Jahr 1436 um Allerheiligen am Abende, nach andern um Mitternacht, war eine erschreckliche große Fluth. In Tetenbüll ertranken 180, nach andern, 280 Menschen. Pelworm wurde vom andern Theile des Nordstrand abgerissen. In dieser Fluth wurde der Burgemeister von Tönning Aude Dethlefs, als er eine Frau aus dem Wasser retten wolte und sich in einen Kübel gesetzt hatte, durch den Strom nach der Eider getrieben und kam endlich zu Büßen in Dithmarschen gesund und wohlbehalten an⁶⁾.*
- 1460 *Im Jahr 1460 drang am heiligen Dreikönigstag eine hohe Fluth in Osterbüll ein.*
- 1470 *Im Jahr 1470 brach eine hohe Fluth in Eiderstedt ein, sie war eine Elle höher als 1412⁷⁾.*
- 1480 *Im Jahr 1480 Johannistag, noch schrecklicher die welche 1483*
 1483 *St. Gallentag, den 16. Okt. die fünfte Gallenflut. Sie traf das*
 1484 *ganze Land wie auch im darauf folgenden Jahr 1484⁸⁾.*
- 1501 *Im Jahr 1501, 1506 wie auch eine besonders hohe Fluth 1508 den*
 1506 *1sten Februar. Sie brach in Cating und Tating ein. Gleichfalls*
 1508 *1509 vor Weihnachten⁹⁾.*
 1509
- 1515 *Auch 1515 und 1518 haben die Marschländer vielen Schaden ge-*
 1518 *litten¹⁰⁾.*
- 1543 *Im Jahr 1543 über Eiderstedt, Everschop und Utholm. Die Fluth*
 1548 *brach zu Ordning und Simonsberg ein, daher die Kirche 1545 ver-*
 1550 *setzt wurde. Auch in den Jahren 1543, 1548, 1550 und 1551¹¹⁾.*
 1551

⁶⁾ 1431 wird sonst keine Sturmflut erwähnt. Die Angaben, daß in Tetenbüll Allerheiligen um Mitternacht 1431 und Allerheiligen um Mitternacht 1436 186 oder 180 Menschen ertrunken sein sollen, lassen vermuten, daß diese Fluten identisch sind. Nach R. HANSEN stammt die Nachricht von P. SAX, Der Bericht von 1436 entspricht in allen Einzelheiten dem von HEIMREICH. Das Abenteuer des Tönninger Bürgermeisters erwähnt auch Chronicon Eiderostadense. Mit Büßen ist wohl Büsum gemeint, HEIMREICH schreibt „Busen“, Chronicon „Büsen“.

⁷⁾ HEIMREICH schreibt: „Anno 1470 ist auff Heil. Drey König eine hohe Fluth ergangen, so eine Ellen höher als vorbesagte Cecilien-Fluth (22. Nov. 1412 d. Verfasser) gestiegen und zu Offenbüll in Eyderstätte eingebrochen.“ Auch Chronicon erwähnt für 1470 den Einbruch bei Offenbüll am Dreikönigstag. Osterbüll und Offenbüll sind identisch (Osteroffenbüllerkooog). Die beiden Berichte von 1460 und 1470 betreffen wahrscheinlich beide die Sturmflut vom Dreikönigstag 1470. Das Jahr 1460 wird nach R. HANSEN von P. SAX erwähnt.

⁸⁾ Chronicon berichtet, daß die Flut in der Neujahrsnacht 1484 in ganz Nordstrand und Dithmarschen in die Köge einbrach, nur Eiderstedt blieb trocken.

⁹⁾ HEIMREICH erwähnt nur eine hohe Flut 1508 auf St.-Briccae-Tag und 1509 am Tage St. Nicolai. SALCHOW und HANSEN erwähnen die 6. Gallenflut 1501. 1506 wird nirgends eine Flut erwähnt. 1. Februar 1508 ist wohl eine Verwechslung von St.-Briccius-Tag (13. November) und St.-Brigida-Tag (1. Februar).

¹⁰⁾ Nur 1515 wird außerdem von SALCHOW erwähnt.

¹¹⁾ Der Bericht von 1543 entspricht genau dem von HEIMREICH. HEIMREICH erwähnt außerdem noch die Jahre 1547, 1548 und 1550. Nur SALCHOW erwähnt auch 1551. Nach SALCHOW sollen 1551 in Eiderstedt schwere Schäden gewesen sein.

- 1573 *Im Jahr 1573, den 21. Aug. war eine sehr hohe Fluth. Das Wasser ging hoch über alle Deiche an der Eider, so daß man lange Zeit den Deich nicht sehen konnte. Es waren an vielen Stellen bis nach Reimersbode verschiedene Löcher und Risse und der Kamm war allenthalben abgeworfen. Zu Reimersbode ging eine Schleuse auseinander und dadurch entstand eine große Wehle, daß ein Schiff von 24 Lasten sicher hinein- und hinausfahren konnte. Das Wasser stand 4 Fuß über die Felder, so daß niemand etwas retten konnte. Heu und Korn, welches geschnitten war, wurde weggetrieben und viel tausend Stück Vieh sind ertrunken. Ein Schiff kam aus der Eider über ins Land . . . Diese Fluth wird die Kornfluth genannt¹²⁾.*
- 1574 *Im Jahr 1574, den 22. Januar (nach andern den 28.) wurden durch eine große Fluth viele Deiche umgeworfen und zerschlagen. Westerhever wurde überschwemmt und die Wehle bei Reimersbode, die erst mit vielen Kosten zuggedämmt war, wurde gerissen. Es kam aus der Eider viel Eis aufs Land, wo es lange lag¹³⁾.*
- 1578 *1578 am Tage der Verkündigung der Marie den 25. März, 1580 den 9. Mai, 1582 8 Tage nach Allerheiligen, gleichfalls 1583 und 1582-1585 1585 den 2 ten Februar sind ebenfalls hohe Fluten gewesen¹⁴⁾.*
- 1595 *Im Jahr 1595 um Jacobi ist der Deich in Wedingharde oder Gotteskoog eingebrochen, jedoch denselben Herbst noch wieder aufgeführt worden, aber den 22. December desselben Jahres wieder durchgebrochen. Der Langenhorner Koog bis Stedesand lief voll Wasser sowie das ganze Land bis in das Schloß in Tondern in einem Umfang von 2 Meilen¹⁵⁾.*

Die meisten Berichte für das 17. Jahrhundert entsprechen weitgehend denen von HEIMREICH. Für den 14. Februar 1602 erwähnt der Tönninger Bericht, daß die Flut 3 Tage nach Neumond stattfand. Diese Angabe ist bei HEIMREICH nicht zu finden, sie ist aber richtig. Neumond war am 11. Februar 1602. Über eine Flut von 1643 findet sich folgende Nachricht: „*Im Jahr 1639 den 21. August war eine hohe Fluth und 1643 gleichfalls welche die von 1634 an Höhe soll übertroffen haben jedoch nicht so verderblich gewesen sein.*“ BAUDISSIN schreibt, daß 1643 eine entsetzliche Flut in die holländischen Marschen eingebrochen sei. Die Herzogtümer hätten weniger gelitten, obgleich Glückstadt eine Zeitlang in Gefahr stand, ganz weggerissen zu werden. Auch in Dithmarschen brachen einige Deiche durch. Offenbar ist die von WOEBCKEN (1924) und FISCHER (1955) für den 24. oder 23. Januar 1643 erwähnte Flut gemeint. Der Vergleich mit der Höhe der Flut von 1634 dürfte für die Westküste wohl unzutreffend sein.

Da die Nordfriesische Chronik von HEIMREICH mit der Sturmflut vom 19./20. Oktober 1663 abschließt, sollen alle in der Tönninger Zusammenstellung danach erwähnten Berichte im Wortlaut wiedergegeben werden.

¹²⁾ Der Bericht über die Kornflut von 1573 ist in Einzelheiten ausführlicher als der entsprechende von HEIMREICH. Der Bericht von C. P. HANSEN geht auf HEIMREICH zurück.

¹³⁾ Auch diese Nachricht ist ausführlicher als die von HEIMREICH. HEIMREICH gibt als Datum „umb Pauli Bekehrung“ (25. Januar) an.

¹⁴⁾ Nur WOEBCKEN erwähnt auch eine Flut am 25. März 1578. HEIMREICH nennt den 1. Mai 1580. Für 1582 schreibt BAUDISSIN, daß die Wilstermarsch überschwemmt und das Siel bei St. Margarethen ausgerissen wurde. 1583 und 1585 werden nur von der Tönninger Handschrift erwähnt.

¹⁵⁾ C. P. HANSEN schreibt lediglich: *Auch 1594 und 1595 ergossen sich mehrere Male die Fluthen der Nordsee durch die beschädigten, unvollkommen wieder hergestellten Deiche der Wiedingharde.*

- 1665 *Im Jahr 1665 den 5. und 6. Dec. war gleichfalls eine hohe Fluth, die besonders in England, Schottland, Seeland, Brabrant, Holland und Friesland unermeßlichen Schaden gethan¹⁶⁾.*
- 1667 *Im Jahr 1667 d. 26. Jan. war eine Eisfluth, 1679, 1692 und 1696*
1679-1696 *waren hohe Fluthen¹⁷⁾.*
- 1697 *Im Jahr 1697 den 23. Juni wurden durch eine hohe Fluth die Deiche in den Marschländern sehr beschädigt wie auch 1699.*

c) Im 18. Jahrhundert

- 1701 *In den Jahren 1701, 1702 wie 1703 entstanden Fluthen, die an*
1702 *Höhe der von 1634 gleichkamen, besonders die von 1703, indem*
1703 *ein Bürger in Husum in dem 2ten Hause westen der Twiete bei der Brücke folgendes hat in einen Stein hauen lassen: Im Jahr 1703, den — — ist das Wasser über den Stein gegangen¹⁸⁾.*
- 1710 *Dienstag nach Trinitatis und in demselben Jahre den 27. Juli*
1715 *wie auch 1715 den 4. März waren hohe Fluthen¹⁹⁾.*
- 1717 *Im Jahr 1717, den 25. December entstand unvermuthet eine sehr hohe Fluth die weit um sich griff und die Länder an der Westsee und auf dem festen Lande traf und höher als 1634 stieg. Auf Hooge, wo sich 120 Haushaltungen befanden, wurden 12 Häuser weggespült mit allem Hausgeräth und 60 gänzlich ruiniert. Auf Nordmarsch stand das Wasser eine Elle hoch in der Kirche. Es sind 19 Häuser gänzlich umgeworfen und 11 unbeschädigt und die übrigen 48 durchgespült und auf bloßen Säulen stehengeblieben. Unzählige Mobilien wurden weggeschwemmt und 17 Menschen ertranken. Auf Langeneß wurden viele Häuser beschädigt der Kirchhof wurde durchgewühlt, einige Särge aus den Gräbern gerissen und 4 Menschen ertranken. Auf Pellworm sollen einige 70 Menschen, auf Kleinmoor 14 und auf Gröde 3 Menschen ertrunken sein, auf Oland kein einziger wiewohl es an Häusern und Werften großen Schaden anrichtete und auch die Mühle wegriß²⁰⁾. Auch Husum litt bedeutend. Am Weihnachtstage morgens um 6 Uhr stand das Wasser auf dem Markte bis an die Stadtwaage.*

¹⁶⁾ Außerdem nur von SALCHOW erwähnt. Nach SALCHOW sind „unsere Gegenden“ verschont geblieben.

¹⁷⁾ Die von SALCHOW am 26. Januar 1666 erwähnte Flut dürfte mit der vom 26. Januar 1667 identisch sein. BAUDISSION schreibt, daß 1692 die Haseldorfer Marsch (in den Elbmarschen) weggerissen sei.

¹⁸⁾ BAUDISSION: 1701 wurde Eiderstedt überschwemmt. 1703 wurden die schleswigschen Deiche übel zugerichtet, besonders stark wurden die Pelwormer und Nordstrander Deiche beschädigt.

¹⁹⁾ BAUDISSION: 1710 ging die Hattstedter Marsch unter Wasser. Der letzte Rest der weißen Klippe auf Helgoland wurde weggerissen.

²⁰⁾ C. P. HANSEN erwähnt die gleichen Verluste an Menschenleben für Nordmarsch, Pellworm, Kleinmoor und Gröde, für Langeneß jedoch 14 Tote. Als Quelle gibt er das Olander Archiv an. Nach dem von C. P. HANSEN zitierten Bericht des Pastors HEIMREICH auf Nordstrandischmoor sollen auf Hooge 72 Häuser teils ganz, teils halb zerstört sein. BAUDISSION (1876) nennt als Schäden auf Hooge dieselben Zahlen wie der Tönninger Bericht. Die Zahl der Ertrunkenen auf Nordmarsch gibt BAUDISSION mit 19 an.

Gassen, Keller und Häuser liefen voll²¹⁾, daß aber das Wasser in die Kirche gedrungen sei und Kanzel und Altar und Stühle weggespült, ist nur eine bloße Sage. Pellworm, Nordstrand, Simonsberg, Uelvesbüll, Hattstedter Marsch und Porrenkoog wurden überschwemmt. Zum Andenken dieser sehr hohen Fluth hat ein Mann der damals in dem Hause des verstorbenen Rathsverwandten Esmarch wohnte in einen Stein folgendes einhauen lassen: „Anno 1717 den 25. Dec. ist die Fluth bis diesen Stein gegangen.“ Besonders traf die Überschwemmung Süderdithmarschen. Es kamen darin zusammen 468 Personen und 6530 Stück Vieh um und weggetrieben und ruiniert sind 1067 Häuser²²⁾. Ein ganz besonderes Ereigniß fand bei dieser Fluth statt. In der Wilstermarsch wurde ein großes Stück Moorland mit Haus, Garten, Menschen und Vieh des Nachts unvermerkt aufgehoben und einem Marsch-ingesessenen auf sein Land geführt so daß des Morgens weder dieser da er gerade vor seiner Hausthür einen Baum gefunden noch die im Hause gebliebenen Moorleute sich in die Methamorphose finden konnten. Wer sollte Besitzer bleiben wer weichen? Jeder war auf seinem Grunde. Wahrscheinlich hat der eine sein Haus abgebrochen und der andere sein . . . (?) zu befreien gesucht. Was von der Fluth von 1717 noch übrig blieb wurde in der vom Jahr 1718 den 25. Feb vollends weggespült. Nach glaubwürdigen Nachrichten soll die Fluth vom Jahr 1717 noch 2 bis 3 Fuß höher gewesen sein als die von 1634²¹⁾, doch im ganzen nicht so zerstörend als jene. Es sind überhaupt in der Fluth von 1717 und 18 über 1000 Menschen²³⁾ und 2000 Tonnen Korn weggespült. Von den Seedeichen war fast nichts zu sehen, alle Wintersaat ging verloren. Alle Brücken waren weg, die Wege grundlos und das Land mit salzen Wasser überschwemmt, so daß viele Häuser bis ans Dach voll Wasser standen. Die Südermarsch und der Porrenkoog brachen durch²⁴⁾, einige Häuser auf dem Porrenkoogerdeich wurden weggespült und nicht wieder erbaut.

1720 Im Jahr 1720 den 31. Dec. 2 Tage nach dem Neumonde²⁵⁾ war die Fluth noch höher als in der heiligen Christnacht 1717. Das Wasser stand damals in den Häusern in der Süderstraße. Die Balken trieben von der Brücke weg bis an die Stadtwaage. Das Wasser lief durch die Häuser. Mehrere Köge in Westermarsch, Okholm, Hattstedter Marsch, Pellworm, Dithmarschen und mehrere gingen voll Wasser. Viele Menschen ertranken²⁶⁾.

²¹⁾ Über Husum schreibt CLEMENT (1845): Das Wasser stieg von halb 4 morgens an auch auf dem Markt bis an den Kirchhof und in den meisten Häusern in der Krämerstraße. Die Flut soll in Husum 2 bis 3 Fuß höher gestanden haben als 1634.

²²⁾ Die Zahl von 468 Ertrunkenen in Süderdithmarschen nennen auch BAUDISSION und LANG (1963) die übrigen Zahlen, die sie angeben, sind jedoch andere: 3760 Stück Vieh und 279 zerstörte Häuser.

²³⁾ Die Gesamtzahl der Ertrunkenen in den Herzogtümern gibt BAUDISSION mit 579 an. Adiert man die von LANG genannten Einzelzahlen, so betragen die Verluste an Menschenleben 646, eine Zahl, die sich nach LANG bei Ausschöpfung aller Quellen noch erhöhen dürfte.

²⁴⁾ CLEMENT: Auch in der Nachbarschaft Husums brachen die meisten Deiche.

²⁵⁾ Neumond war tatsächlich am 29. Dezember 1720.

²⁶⁾ BAUDISSION zählt für einzelne Orte insgesamt 66 Ertrunkene auf.

1721 1721 am Neujahrsabend war eine bedeutende Fluth. Sie übertrifft die beiden vorigen weit sowohl an Höhe als auch wegen des verursachten Schadens. Für die Wilstermarsch und den an der Elbe liegenden Ländern war sie sehr nachtheilig²⁷⁾.

Wie schon erwähnt, steht in dem Heft aus dem Tönninger Kirchenarchiv vor der Zusammenstellung über die Fluten früherer Jahrhunderte ein Originalbericht von dem Tönninger Organisten JOHANN HASSE. Auch wenn der Bericht erst im Jahre 1724 in das Heft eingetragen wurde, so kann man annehmen, daß HASSE für die Niederschrift Notizen verwandt hat, die er sich unmittelbar nach der Sturmflut gemacht haben muß. Weil Augenzeugenberichte aus der damaligen Zeit sehr selten sind, soll der Bericht von HASSE im folgenden ebenfalls wörtlich angeführt werden. Von allen in dem Tönninger Heft zusammengestellten Berichten ist dieser als ein fast 250 Jahre alter Originalbericht der wertvollste. Der Bericht ist auch in Abbildung 1 wiedergegeben.

Eine gründliche Nachricht von der Wasserfluth welches Ao 1717 den 24 Xbris ich hier belebet habe ist folgendes zu sehen. Danun Ao 1717 den 24. Xbris der Wint heftig auß dem Südwesten stürmte mit Regen und Schnee vermischet, wärte es nicht lange da dreiete sich der Wint nach dem Nordwesten²⁸⁾, begunte heftig und entzetzlich zu stürmen. Daß werte den gantzen Tag ingen abendt wurde es noch sterker daß man angst und bange dabey wart. Die Fluht kam ser hoch angestiegen, der Sturm blieb continuirlich in eines so weg. Da nun daß letzte Viertel um Ein Uhr in der Nacht einstieg, wahr daß Wasser so hoch gestiegen, daß es begunte über den Deich zu laufen. Umb zwey Uhr da goß es mit Magt übern Deich, riß beim Hafen die Slüße ein welches ein großes Log bey der Schleüse in der Erde riße²⁹⁾. Auch lief das Wasser von der neüie Stadt (heutige Straße Neustadt, d. Verfasser) herunter mit großer Kraft. Alle Heüser bey dem Hafen wurden voll Wasser. Um 4 Uhr nahm es vollens kommen überhandt und lief bei Zellers Hauß über die Schlüße mit großer Rascheheit (?³⁰⁾) herüber. Die Heüser in selbiger Straße liefen vol Wasser. Daß Wasser daß von der neüie Stadt herunterlief kam mit ein entzetzlicher Rascheheit (?) herunter und stoß sich mit dem Wasser daß auß der Slüß-Straß (heute Schleusenstraße) herunterkam. Teils lief nach der Radmacherstraßen (heute Rademacherstraße) hin teils der neüien Straßen (heute Neustraße) auf bis aufen Markt an der Hauptwacht. Die Heüser in der neüie Straßen wie auch auf der neüie Stadt liefen vol Wasser³¹⁾. Die meisten Leüte lagen in vollem Schlaf es

²⁷⁾ CLEMENT erwähnt den Neujahrsabend 1720 und gibt dazu an „3 Tage nach Neumond“. Das kann aber nur für den 1. Januar 1721 gelten, denn Neumond war 1720 am 10. Januar. Es ist möglich, daß die Fluten vom 31. 12. 1720 und 1. 1. 1721 identisch sind, es ist aber auch nicht ausgeschlossen, daß an 2 Tagen hintereinander hohe Fluten waren.

²⁸⁾ C. P. HANSEN: *In der Nacht vor dem Christtage, dem 25. Dec. 1717 wüthete ein heftiger Südweststurm, der sich während der Fluth aber nach Nordwest drehte.*

²⁹⁾ In „Denkmahl der Wasserfluth 1825“, Anhang von SALCHOW: *Tönningen ward durch die Grundbrüche bei den Schleußen stark beschädigt.*

³⁰⁾ Das Wort *Rascheheit* = Geschwindigkeit ist nicht eindeutig zu entziffern.

³¹⁾ CLEMENT: *In Tönning ist das Wasser in der Neustadt und der Schleusenstraße fast manns hoch gestanden und wie ein Seestrom durch die Gassen gewogt, so daß die Leute sich nach den Böden haben flüchten müssen.* Die Angabe „mannshoch“, die auch BAUDISSIN macht, ist wohl übertrieben.

wurde an die Thüren angeschlagen und also aufgewecket. Waß es vor einen Erschrecken verursachte kan ein ieder gedenken. Vir die Bürgerschaft angesagt wart daß sie mit Secke und Schüfels und ein Molle bey der Schlüse erscheinen sollen lief ein ieder zu. Allein für den schrecklichen Sturm konten sie nicht arbeiten denn die Schleüse bei Zellers Hause brach auch durch. Da nun daß Wasser in vollen Lauf wahr finge daß Wasser augenblicklich eine handbreit zu sinken, da sich dan ein ieder darob verwunderte. Da sie nun aufsahen wurden sie gewahr daß es in Dithmarschen an unterschiedlichen Orten eingebrochen wahr. Da es nun anfang zu dagen kam die Zeitung, daß es in Eyderstädt an unterschiedlichen Orten eingebrochen wahr³²). Es wahr ein betrübtes Weynachten. Wenig Leüte kamen in die Kirchen. Es wurde nur eine Betstunde gehalten. Die Bürger arbeiten den gantzen Tag an die Schleüse daß sie es fertig krigten. Sonsten hört man, daß viel Köge gantz überschwemmt und weg sollen sein. Auch waren viel Menschen und Viehe angetrieben kommen wie auch viel Kisten und Kasten ist an vielen Orten angetrieben kommen. Gott erbarm sich über uns. Daß Wasser hat andem Stein welche andem Schifferhause Ao 1634³³) eingemauert worden bey damals der großen Wasserflut gewesen und biß diesen Stein gestanden. So hoch als unter diesem Stein ist in dieser Wasserflut daß Wasser auch gestanden.

Ao 1718 den 25 February ingen abendt finge wieder ein entzetzlicher Sturm an mitt sehr hohen Wasser. Es brach daß Wasser an allen Orten ins Landt herein daß es viel mehr Schaden gethan als zuvor. Gott erbarm sich über uns.

Ao 1720 den 28. Xbris fing ein scharfer Wint an auß dem Südewesten zu weihen. Dem 29. wart es ein starker Sturm auch auß dem Südewesten. Dem Montag hatte sich etwaß geleet allein ingen dem Abent finge es hart wider an zu stürmen und werret meist die gantz Nacht. Am 31. dito da finge es ingen den Morgen entzetzlich an zu stürmen daß Wasser finge an hoch auflaufen. Um 12 Uhr im Mittag begunte es bey der Schleüse ein zu brechen³⁴). Da wart den Bürgern angesaget daß sie bey der Schleüse erscheinen welches auch geschah. Durch viele Mühe und Arbeit erhielten sie die Schleüse noch in Stand allein es ginge daß Wasser über und lief in dem sogenannten Grund hinein daß also die Höfe oder Gerten gantz überschwemmt wahren. Die Heüser als Zellers Hauß auch die andern Heüser dabey liefen vol Wasser. Sonsten ist es auf dem Lande auch in die Köge eingebrochen als Ülsbül, Witzwort, Tating und anderer Orte gantz mit Wasser überschwemmt gewesen und sind also (wie die Rede gehet) von dem Wasser nicht gantz befreiet gewesen. Waß diese vor einen Ruin des Landes gebracht erfährt ein ieder. Daß Deichent hat ein ungezehltes gelt gekostet daß auch die meisten darüber crepirt sind. Es ist Gott

³²) SALCHOW nennt 80 Deichbrüche zwischen Tönning und St. Peter. CLEMENT schreibt: *Fast alle Deiche wurden zerstört*. Ähnliche Angaben macht BAUDISSIN.

³³) Der Hochwasserstein wird von TETENS erwähnt, vgl. SCHRÖDER (1833) und FISCHER (1955).

³⁴) CLEMENT und C. P. HANSEN beginnen die Schilderung erst mit dem Nachmittag des 31. Dezember 1720. CLEMENT erwähnt, daß der Wind an dem Tage von SW nach NW umgesprungen sei. Sonst wird von der Sturmflut 1720/21 nicht viel erwähnt. SALCHOW nennt sie gar nicht.

*lieber die Deichent itzo in dem Stande gesetzt als in vielen Jahren es gewesen ist. Der höchste Gott bewahre uns ferner vor Wasserfluthen und erhalte unsere Deich und Damm in gutem Stande.
Ao 1724 Johann Hasse, Org.*

Über die Weihnachtsflut vom 25. Dezember 1717 ist von LANG (1963) eine sehr ausführliche Abhandlung erschienen, zu der viele alte Berichte, Handschriften und Drucke, herangezogen sind, um ein möglichst genaues Bild dieser Katastrophenflut zu zeichnen. LANG verwendet dabei in der Hauptsache allerdings Berichte aus Ostfriesland und den Niederlanden. Zur Ergänzung der LANGschen Arbeit ist daher der o. a. Bericht des Organisten JOHANN HASSE wertvoll. Dabei ist es bedeutsam, daß die Angaben von HASSE sich mit denen, die LANG auf Grund der Auswertungen alter Berichte gemacht hat, im wesentlichen decken. Über die Entwicklung der Wetterlage schreibt LANG unter anderem:

„Den ganzen nächsten Tag (24. Dezember) herrschten steife bis stürmische Winde aus südwestlichen Richtungen mit Regenfällen . . . am Nachmittag des gleichen Tages, gegen 14 Uhr kam ein heftiger Weststurm auf, er drehte gegen 16 Uhr auf WNW und flaute – auf NW drehend – zwischen 23 und 24 Uhr etwas ab. Ein bis zwei Stunden später – gegen ein Uhr früh des 25. Dezember – nahm der noch immer aus NW wehende stürmische Wind rasch an Stärke zu und entartete in kurzer Zeit fast stoßartig in einen Orkan . . .“

Der erste Satz des Berichtes von HASSE bestätigt diese Angaben vollkommen. Außerdem hebt LANG hervor, daß das Wasser stellenweise 2½ bis 3 Stunden über die Deiche geströmt sei. Die Sturmflut hätte danach „eine für manche ihrer Art typische, langandauernde Scheitelhöhe beibehalten . . .“. Auch diese Tatsache geht aus dem Bericht von HASSE hervor. Danach begann das Wasser um ein Uhr nachts über den Deich zu laufen und noch um vier Uhr lief es bei Zellers Haus über die Schleuse. Gut beobachtet ist das plötzliche Absinken des Wassers, als angeblich am Dithmarscher Eiderufer größere Deichbrüche eingetreten waren. Im übrigen gibt der recht sachliche Bericht des Organisten ein anschauliches und sicher in allen Einzelheiten zutreffendes Bild von dem Ablauf der Sturmflut in der Stadt Tönning.

1745–49 1745 am Charfreitag, 1747 den 2. Dec. und 1749 den 9. Sept. waren gleichfalls hohe Fluthen³⁵).

1751 Im Jahr 1751, den 11. Sept., war eine Fluth die in allen Stücken der 1717 gleichkam. Den ganzen Sommer dieses Jahrs hindurch war es stürmisch und regnigt. Jeder hoffte auf einen guten Herbst, allein es fing den 9. Sept. aus Südwest an zu stürmen und dauerte dergestalt fort, daß das Wasser den 11. Sept. ungewöhnlich hoch wurde³⁶). Aus Glückstadt wird geschrieben, daß es beim Königlichen Seemagazin oder formaligen Isländischen Packhause durchgegangen sei. Der sogenannte Rethhügel lief bald voll. In den unteren Häusern der Königsstraße stand das Wasser 3 Ellen hoch in die Häuser. Besonders litt auch die Wilstermarsch. Der mit kostbaren Steinen belegte von St. Margarethen bis Wewelsfleth ge-

³⁵) Nur BAUDISSIN erwähnt für 1745 eine hohe Flut, für die Fluten von 1747 und 1749 finden sich nirgends Angaben.

³⁶) Nach C. P. HANSEN begann ein Sturm aus Südwest am 9. September und erreichte seinen höchsten Punkt am 11. September.

hende Elbdeich wurde so verwüstet, daß an mehreren Stellen kaum die Spur geblieben ist³⁷⁾.

1756 *Auch 1756 war eine ebenso hohe Fluth als die vorgenannte vom Jahr 1751. In Husum war das Wasser ziemlich hoch³⁸⁾. Der Mühlenlamm ward weggespült. Die Deiche blieben verschont. Am 7. October war der fürchterlichste Sturm. Er riß große Bäume mit Wurzeln aus der Erde. So wurden in der Schwabstedter Hölzung über 500 und in anderen Hölzungen gegen 200–300 Stück herausgerissen gefunden. Der heftige Sturm³⁹⁾ warf die Leute auf der Gasse zu Boden. So heftig der Sturm wüthete, so heftig fing das Wasser an zu steigen. Die Wuth desselben war unbeschreiblich. Die Häuser und Keller bei der Brücke in der Krämerstraße liefen alle voll. Mit der großen Wuth und unerhörter Geschwindigkeit rauschten die Wellen über die höchsten Deiche weg. Die Deiche der Südermarsch und Porrenkoog von Wiedingharde und Okholm litten vielen Schaden⁴⁰⁾. Übrigens sind in dieser fürchterlichen wüthenden Fluth keine Menschen ertrunken⁴¹⁾. In dem Predigerhaus auf Gröde stießen die Särge die Wände ein⁴²⁾. Besonders litten die Halligen Mangel an frischem Wasser.*

1791 *Im Jahr 1791, den 22. März war eine Fluth die der von 1756 fast an Höhe übertraf⁴³⁾. Hoch schlugen und strömten die Wellen über die höchsten Deiche. In Halligenstädte (Heiligenstede?) und Elmsborn erreichte das Wasser die größte Höhe. Wäre bei Elmsborn nicht ein Deich durchgebrochen so wäre die Noth und der Schaden noch größer gewesen. In der niedrigsten Gegend des Fleckens stand das Wasser bis an die Decke der Stube. Hennstedt litt ganz vorzüglich. In ihrer Nähe waren 16 Durchbrüche⁴⁴⁾. Die Fluth verbreitete sich über das ganze Kirchspiel. Zum Glück hatten die Vorfahren die Häuser auf einen hohen Grunde angelegt. Kein Mensch, kein Stück Vieh ist ertrunken. In 3 Wochen das Wasser sich nicht verlaufen. Alles war auf Rettung bedacht. Der eine suchte einen Kahn der andere einen Backetrog um nach dem Nachbar zu kommen.*

1792 *Im Jahre 1792 d. 10. und 11. Dec. Nach mäßigem Frostwetter folgte in der ersten Woche des Dec. ungestüme Witterung bei veränderlichen Winden. Mit dem 4ten erhoben sich starke westliche Stürme und mit denselben abwechselnd an der Westküste hohe*

³⁷⁾ BAUDISSION: *Der mit Granitblöcken belegte Deich bei Wewelsfleth wurde an vielen Stellen spurlos verwüstet, seine Wiederherstellung kostete allein 20 000 Rthl.*

³⁸⁾ BAUDISSION: *Husum, Tönning, die Hattstedtermarsch, die Inseln und Halligen – alles stand unter Wasser.*

³⁹⁾ CLEMENT: *Ganze 30 Stunden hielt der Sturm an.*

⁴⁰⁾ BAUDISSION: *Die Deiche litten unendlichen Schaden.*

⁴¹⁾ In den Elbmarschen sind nach BAUDISSION 528 Menschen ertrunken, für die Westküste zählt auch er keine Verluste an Menschenleben auf.

⁴²⁾ Wird auch von BAUDISSION und C. P. HANSEN erwähnt.

⁴³⁾ Nach C. P. HANSEN brachte das Jahr 1791 eine „wahre Unzahl von Stürmen“, davon sechs im Januar, drei im Februar, zwei im März, drei im November, fünf im Dezember. Obgleich sie manche Überschwemmungen und Schiffbrüche veranlaßten, hätten sie aber bis auf den heftigsten am 21. März zu den sogenannten Halbstürmen gehört.

⁴⁴⁾ BAUDISSION nennt 11 Deichbrüche in Stapelholm.

Fluthen⁴⁵). In der Nacht vom 10.–11. nachdem der Wind von Südwest nach Norden gegangen war entstand in Hamburg und Altona eine der höchsten Fluthen in diesem 17. Jahrhundert 3–4 Zoll höher als beim 22. März 1791. Als Naturmerkwürdigkeit wird angeführt, daß diese hohe Fluth 3 Tage von dem neuen Monde eintraf⁴⁶). Besonders richtete diese Fluth großen Schaden in Itzebo an. Die Passage vor dem Delphthore war 14 Tage gesperrt und konnte nur durch Kähne geschehen. Der Stördeich war an drei Stellen durchgebrochen und es geschahen 3 Grundbrüche. Die Brücke am Delphthore nebst dem Deiche bei der Sägemühle waren in großer Gefahr weggerissen zu werden weil die Föhrenbalken und Mastbäume sich unter der Brücke gestemmt hatten. Der Steindamm war bis auf 10 Fuß in der Tiefe weg⁴⁷). In der Wilstermarsch brach der Deich an verschiedenen Orten durch und das Wasser war höher als vor einem Jahre⁴⁸). Den vorübergehenden Leuten wurden Eisschollen über die Köpfe hingeschleudert. In H... um (?) wird erzählt, sei ein kleines Kind in der Wiege angetrieben. Dieses hatte der Sage nach 12 silberne Löffel bei sich, welche, wie man glaubt, die Mutter bei der Trennung ihrem Kinde mitgegeben habe. In Brunsbüttel wurden die Deiche schwer beschädigt und überhaupt war an der westlichen Seite der Schade sehr groß. Besonders litten in Norderdithmarschen die Kirchspiele Dolve, Hennstedt⁴⁹) und ein Theil von Lunden. Bei St. Annen und Westermohr brachen alle Binnendeiche durch, und in Schlichtingen war große Noth für die Bewohner. Die Menschen begaben sich auf die Böden der höchsten Häuser, weil sie in den unteren Stockwerken zu ertrinken Gefahr liefen. Aus den Dächern stecken sie Nothfahnen aus, weil ihnen Nahrungsmittel fehlten, die ihnen dann auf Böten zugeführt und die Menschen vor Hunger geschützt und gerettet wurden. Eine große Menge Waaren von verunglückten Schiffen⁵⁰) wurden an den Küsten gefunden unter anderem an Leinwand und ?-tuch 31755 Ellen. Die Helgoländer verdienten abends 20 000 Mark an Bergelohn. Unter allen Inseln an der Westküste litt Pellworm am meisten. Sie wurde dergestalt überschwemmt, daß die Bewohner nur in Booten oder auf Pferden, die durchs Wasser zu waten gewohnt waren, zu einander kommen konnten⁵¹). Menschen sollen in dieser Überschwemmung nicht umgekommen sein.

1793 Im Jahr 1793 den 3ten März in diesen Sturm und der damit verbundenen Überschwemmung litt die Landschaft Stapelholm be-

⁴⁵) Auch C. P. HANSEN berichtet, daß der Sturm am 4. Dezember begonnen hätte. Am 11. erreichte der Sturm seinen Höhepunkt und sprang von Südwest nach Nordwest.

⁴⁶) Neumond war am 13. Dezember abends.

⁴⁷) BAUDISSION berichtet: „Die Stördeiche wurden stark beschädigt, der Steindamm bei Itzebo wurde bis auf 10 Fuß Tiefe weggespült.“

⁴⁸) Von dieser Stelle an bis zum Ende ist der Bericht über die Sturmflut von 1792 in einer anderen Handschrift geschrieben.

⁴⁹) BAUDISSION: Im Kirchspiel Hennstedt erlitt der Deich einen Deichbruch von 30 Fuß Tiefe.

⁵⁰) Nach C. P. HANSEN sollen allein vor Sylt am 11. Dezember 11 Schiffe untergegangen sein, auch bei Helgoland und Amrum waren Schiffbrüche vorgefallen.

⁵¹) C. P. HANSEN: Die besonders arg zerrissenen Pellwormer Deiche ragten wie Klippen aus dem schäumenden Meere hervor. Die dortigen Koge standen teilweise 6 Fuß unter Wasser.

deutend⁵²⁾. Die Überschwemmung erstreckt sich ins Amt Gottorf. Am meisten litten die Einwohner am Umleitungsdeich im Sorgekoog der 3 Seen, Klein-Börmer- und Megersee. Mit Todesgefahr sahen die Bewohner auf das sie losstürmende Wasser. Sie dachten an Rettung aber ohne Boote mußten sie zum Boden ihre Zuflucht nehmen. Am folgenden Morgen veranstalteten die Geestdörfer Rettungsmittel und nahmen die armen fast vor Kälte erstarrten Menschen in ihre Wohnungen auf.

1794 Im Jahr 1794 den 26. Jan. Schon am 22. erhob sich ein heftiger Sturm. Es hagelte stündlich, am 24. brach am Vormittag ein heftiges Gewitter aus mit starkem Hagel. Es schlug in den Lundener Kirchturm und auch an denselben Tage in den Neu Kirchner Thurm in Norderdithmarschen. Die Deiche wurden beschädigt. Der Schade, den die Eiderstedter Deiche zusammen litten läßt sich wohl auf 16–20 000 RThl anschlagen⁵³⁾. Ein Distrikt von ganzen Meilen bis Bünger Damm und Erfte stand unter Wasser. Pellworm soll diesmal noch mehr als in der Fluth von 3ten März 1793 gelitten haben⁵⁴⁾. Auch in Widdingharde brach das Wasser ein. Diese in 4 Jahren schnell aufeinanderfolgenden Fluten mußten nothwendig großen Schaden verursachen weil die Durchbrüche der Dämme unmöglich in so kurzer Zeit völlig wieder ausgebessert noch weniger gänzlich in Stande gesetzt werden konnten. Die Höhe der in diesem Jahrhundert entstandenen Fluthen wird folgendermaßen angegeben:

1717 den 25. Dec.	20 Fuß – Zoll (= 5,74 m)
1751 – 11. Sept.	20 Fuß 2 Zoll (= 5,79 m)
1756 – – –	20 Fuß 5 Zoll (= 5,86 m)
1791 – 22. März	20 Fuß 2 Zoll (= 5,79 m)
1792 – 10. u. 11. Dec.	20 Fuß 6 Zoll (= 5,88 m) ⁵⁵⁾

3. Die Februar-Sturmflut 1825 und die Rekonstruktion der Scheitelhöhen einiger historischer Sturmfluten

Über die Februar-Sturmflut von 1825 gibt es viele genaue Angaben. Mehrere Berichte werden von SCHELLING (1952) in der Arbeit „Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein“ zitiert. Von dem Verfasser der im Tönninger Kirchenarchiv gefundenen Zusammen-

⁵²⁾ BAUDISSION: *Der Stapelholmer Deich erlitt 14 Durchbrüche.*

⁵³⁾ BAUDISSION: *Dithmarschen und Eiderstedt litten am meisten.*

⁵⁴⁾ BAUDISSION: Pellworm wurde wieder grausam heimgesucht. C. P. HANSEN: *Noch Mitte Februar stand Pellworm so tief unter Wasser, daß man nur in Booten von einem Hause nach dem anderen gelangen konnte.*

⁵⁵⁾ Leider wird bei diesen Höhenangaben nicht erwähnt, auf welchem Horizont sie bezogen sind und für welchen Ort sie gelten. Immerhin ist bemerkenswert, daß alle Fluten etwa die gleiche Höhe erreichten und daß alle höher angegeben werden als der Flutscheitel vom 25. Dezember 1717. Der Unterschied zwischen den Fluten von 1717 und 1756 wird mit 5 Zoll = rund 12 cm (Hamburger Maß) angegeben. Nach anderen Quellen (s. Abschnitt 3) soll in Tönning der Flutscheitel von 1756 11 Zoll (26 cm) höher gewesen sein als 1717. 20 Fuß sind im Hamburger Maß 5,74 m. Die Höhenangaben werden wahrscheinlich auf das zeitgenössische MTnw bezogen sein. Nimmt man an, daß der Sturmflutscheitel der genannten Fluten etwa die gleiche Höhe über dem zeitgenössischen MThw erreichte wie der Scheitel der Februar-Sturmflut 1962 über dem MThw 51/60 und setzt man den gleichen mittleren Tidehub voraus wie heute, so könnten die Zahlen etwa für Nordfriesland gelten. (Z. B. Wittdün PN + 9,14 m (HHThw) – PN + 3,63 m (MTnw) = 5,51 m, Wyk a. Föhr PN + 9,31 m (HHThw) – PN + 3,56 m (MTnw) = 5,75 m.

stellung über die hohen Fluten früherer Jahrhunderte befindet sich auf der Rückseite des Berichtes von HASSE über die Sturmfluten von 1717 bis 1721 ebenfalls eine Mitteilung über die Sturmflut vom 3./4. Februar 1825. Auch dieser Bericht ist zweifellos ein Augenzeugenbericht und soll im folgenden wörtlich angeführt werden:

Zwischen den 3ten und 4ten Februar war hier eine große Wasser-noth. Der Sturm fing schon den 1ten Februar an aber in der Nacht vom 3ten stieg das Wasser zu einer ungewöhnlichen Höhe es ging schon um 12 Uhr über die Deiche hinweg da erst um 2 die höchste Fluth war. Die sogenannte Dreckstraße (heute Fischerstraße) war in einen See verwandelt. Das Wasser lief die Schleusenstraße hinunter und endlich stand es auf dem Markt. Die Schleuse ist glücklicherweise nicht durchgebrochen aber 2 Menschen in der Stadt ertrunken. Dicht bei H. Karstens Haus ist ein großes Loch in die Erde gerissen. Die Häuser auf dem Deiche wurden verrammelt so wie die in den niedrigen Gegenden der Stadt. In den Häusern welche beim Hafen standen lief das Wasser doch in die Stuben und Keller. Die Sturmglocke wurde gezogen, um die Einwohner vor der drohenden Gefahr zu warnen und viele flohen in die oberen Stockwerke ihrer Häuser. Zum Glück legte sich der Sturm um 9 Uhr des Morgens ehe die hohe Fluth wieder kam. Die Deiche sind sehr beschädigt und an manchen Stellen durchgebrochen aber keine Schleuse ist entzweigegangen. Die meisten Bäche sind voll von salzen Wasser so wie die meisten Gräben im Lande. Die Kirchspiele St. Peter, Ordning und Kating waren fast ganz wie eine See mit Salzwasser überschwemmt. Diese Fluth ist 1 Fuß 5 Zoll höher gewesen als die Fluthen vom Jahr 1626 den 26 Februar, 1634 den 11 Oktober, 1717 den 24 December⁵⁶⁾.

Interessant sind die Bemerkungen, die in dem letzten Satz des Berichtes über die Höhe der Februar-Sturmflut von 1825 im Vergleich zu anderen früheren Sturmfluten gemacht werden. Da die Scheitelhöhe der Februar-Sturmflut 1825 für Tönning bekannt ist, lassen sich daraus Schlüsse auf die früheren Sturmfluten ziehen. Die Höhenmarken von früheren Sturmfluten waren an dem 1624 erbauten Haus der Schiffergilde am Hafen angebracht. Das heutige Schifferhaus ist im Jahre 1808 neu erbaut worden (WOLFHAGEN 1836), bei dem Neubau wurden leider die alten Sturmflutmarken fortgelassen. Es gibt aber einen Bericht von J. N. TETENS aus dem Jahre 1778 über die Sturmflutmarken am alten Schifferhaus. Der Bericht von TETENS wird von FISCHER (1955) und auch in einer älteren Nachricht von SCHRÖDER (1833) zitiert. Dabei ist angegeben, wie hoch die Höhenmarken von 4 Sturmfluten sich über dem Erdboden befunden haben:

26.	2.	1625	1½	Fuß über der Erde
11.	10.	1634	4	Fuß über der Erde
24.	12.	1717	3¾	Fuß über der Erde
7.	10.	1756	4	Fuß und 8 Zoll über der Erde.

Damit ist die Scheitelhöhe dieser 4 Sturmfluten relativ zueinander bekannt. Nach den von TETENS erwähnten Steinen am Schifferhaus bestand zwischen der Scheitelhöhe der Sturmflut vom 11. 10. 1634 und der vom 24./25. 12. 1717 ein Unterschied von ¼ Fuß, das sind im metrischen Meßsystem rd. 7 cm (nach Hamburger Maß 7,2 cm, nach Eiderstedter Maß 7,5 cm).

⁵⁶⁾ WOLFHAGEN (1836) schreibt, daß das Wasser zu einer Höhe stieg, welche die höchsten Fluten der beiden letzten Jahrhunderte um 1½ Fuß (das sind 1 Fuß 6 Zoll) übertraf. Der Deich bei der Hauptschleuse brach durch und „wurden die mehrsten Straßen der Stadt überschwemmt“.

Aus der Angabe von HASSE „so hoch als unter diesem Stein (von 1634) ist in dieser Wasserflut das Wasser auch gestanden“, kann man entnehmen, daß die Höhenlage der Flut von 1717 in Tönning etwas geringer war als 1634. Das würde dem von TETENS angegebenen Unterschied von rund 7 cm zwischen den beiden Hochwassermarken entsprechen. Mit der Angabe in dem Bericht von 1825, daß die Februarflut 1 Fuß und 5 Zoll höher gewesen sei als die Fluten vom 11. Oktober 1634 und 24. Dezember 1717, läßt sich die Höhenangabe dieser beiden Fluten auf den heutigen

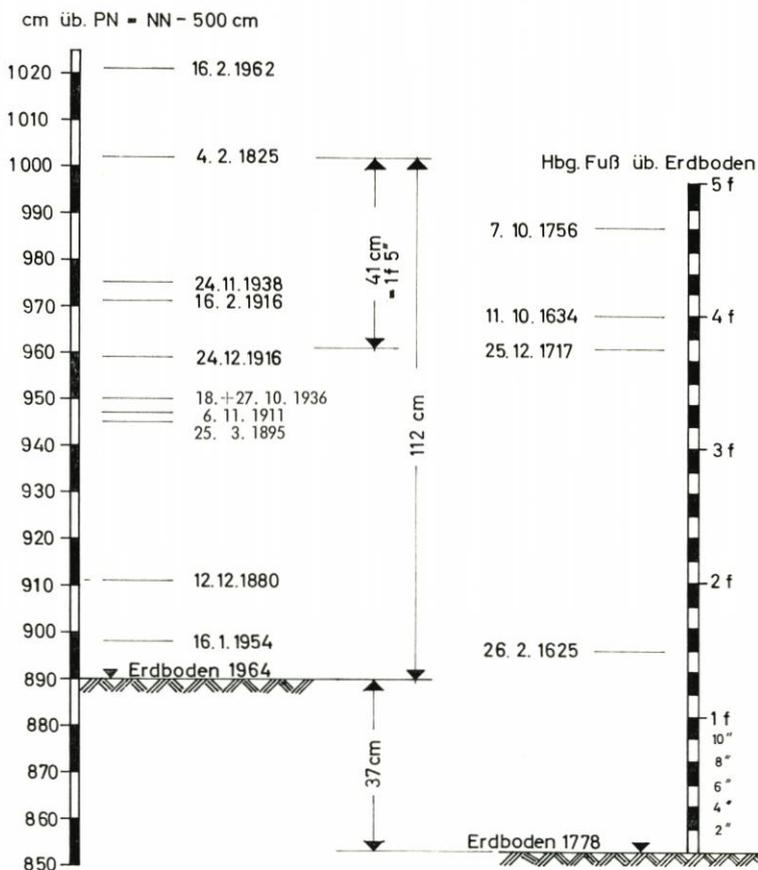


Abb. 2. Scheitelhöhen einiger bedeutender Sturmfluten. Pegel Tönning

Horizont beziehen, wenn auch mit dem Fehler von 7 cm, nämlich dem Unterschied, der zwischen den beiden Fluten 1634 und 1717 nach TETENS bestanden haben soll. Abbildung 2 gibt eine graphische maßstäbliche Gegenüberstellung der absoluten Scheitelhöhen der höchsten Sturmfluten nach den Wasserstandsbeobachtungen des letzten Jahrhunderts am Pegel Tönning mit den Höhen, wie sie sich für die genannten früheren hohen Sturmfluten nach der Nachricht von TETENS ergeben. Für die graphische Darstellung der Abbildung 2 ist angenommen, daß die Scheitelhöhe von 1717 1 Fuß und 5 Zoll unter der von 1825 gelegen hat, das sind im metrischen Meßsystem 41 cm, wenn sich die Angaben auf das Hamburger Maß und 42 cm, wenn sie sich auf das Eiderstedter Maß beziehen. Angenommen wurde das Hamburger Maß, da es nach FISCHER (1955) durch eine Verordnung von 1768 zum gesetzlichen Maß erklärt wurde. Die Angabe in dem Bericht von 1825, daß auch die Flut vom 26. Februar 1626 durch die Flut

vom Februar 1825 um 1 Fuß 5 Zoll überschritten worden sei, ist mit Sicherheit falsch. Gemeint ist die Sturmflut vom 26. 2. 1625, die von TETENS erwähnt ist. Nach den Angaben von TETENS lag der Scheitelwert der Sturmflut von 1625 $2\frac{1}{2}$ Fuß tiefer als der von 1634, das sind nach Hamburger Maß rund 72 cm.

1825 wurde keine Hochwassermarken an dem neuen Schifferhaus angebracht. Der dort befindliche Hochwasserstein, der 1963 durch die neue Granittafel (ROHDE 1964) ersetzt wurde, ist erst um 1938 gesetzt worden. Aus der Zeit von 1825 wird dagegen die Sandsteintafel am Kanalpackhaus stammen. Sie ist aber bei früheren Reparaturen am Mauerwerk des Hauses umgesetzt worden und wurde erst 1963 auf die nach sorgfältigen Ermittlungen der Landesanstalt für Gewässerkunde (FISCHER 1955) festgelegte Höhe des Sturmflutscheitels von 1825, PN + 1002 cm, gesetzt. Diese Höhenangabe soll hier als richtig angenommen werden⁵⁷). Die Hochwassermarken von 1825 am Schifferhaus liegt heute 1,12 m über dem Erdboden. Demnach hätte der Hochwasserscheitel von 1634 $112 - 41 + 7 = 78$ cm über dem heutigen Erdboden gelegen, während das von TETENS angegebene Maß von 4 Fuß einer Höhe von 1,15 m entspricht. Seit der Mitteilung von TETENS aus dem Jahre 1778 bis heute muß also eine Aufhöhung der Deichkrone um $115 - 78 = 37$ cm – wahrscheinlich beim Neubau des Hauses im Jahre 1808 – stattgefunden haben. Nach der Mitteilung von TETENS ist die Sturmflut von 1756 noch um 8 Zoll (19 cm) höher gewesen als die von 1634. 1756 sind allerdings keine so großen Schäden eingetreten wie 1634 und 1717. FISCHER vermutet daher, daß in der Angabe der Scheitelhöhe der Sturmflut von 1756 auch ein Teil des Wellenauflaufes enthalten ist, weil an anderen Stellen der Westküste die Sturmflut von 1756 nicht die Höhe der Flut von 1717 erreicht hat. Es kann jedoch örtlich die Scheitelhöhe der Flut von 1756 auch etwas größer gewesen sein als 1717. 1717 sind zahlreiche Deichbrüche in Eiderstedt eingetreten, durch die der Flutscheitel erniedrigt wurde, 1756 waren dagegen nur wenige Deichbrüche zu verzeichnen⁵⁸). Auch nach der Angabe im Abschnitt 2, die vielleicht für Nordfriesland gilt, war die Flutscheitelhöhe 1756 12 cm höher als 1717. Überhaupt ist bei allen Angaben über Sturmflutscheitelhöhen früherer Jahrhunderte nicht sicher, wie weit darin ein Wellenauflauf enthalten ist.

Die Gegenüberstellung der Scheitelhöhen der verschiedenen Sturmfluten auf Abbildung 2 zeigt, daß die Fluten von 1756, 1634 und 1717 etwa im Bereich der absoluten Höhen der Sturmfluten von 1938, 1916 und 1917 gelegen haben. Eine Beschilderung auf das damalige mittlere Tidehochwasser wird in der Arbeit von HUNDT (1955) vorgenommen. Der in dem Bericht von 1825 aus dem Tönninger Kirchenarchiv erwähnte Unterschied von 1 Fuß 5 Zoll zwischen den Scheitelhöhen von 1634 bzw. 1717 und 1825 wird nach FISCHER (1955) und SCHELLING (1952) auch von dem Deichinspector SALCHOW erwähnt. Der Salchow-Bericht (Landesarchiv A XVIII 6134) ist überschrieben: *Etwas über die Wirkungen der großen Wasserfluth an der Westküste der Herzogthümer Schleswig und Holstein, in der Nacht vom 3ten auf den 4ten Februar 1825*. Der Bericht trägt leider kein Datum und auch keine Unterschrift. Er ist aber sicher erst einige Zeit nach der Sturmflut aufgestellt worden, weil er einen Gesamtüberblick der Schäden im ganzen Lande gibt. Über den Ablauf der Sturmflut und ihre Höhe in Tönning wird folgendes mitgeteilt:

⁵⁷) WOLFHAGEN erwähnt, daß außen an der Packhausmauer das Wasser 5 Fuß (1,44 m) hoch gestanden hat. Die Hochwassermarken liegt heute nur 0,94 m über der an dem daneben liegenden Tor etwas heruntergezogenen Straßenoberfläche. Es ist möglich, daß die Straße seit 1836 um 50 cm aufgehöhht worden ist. Es ist aber auch möglich, daß man die Hochwassermarken am Packhaus an die obere Grenze der benetzten Mauerfläche gesetzt hat. Infolge der Benetzung durch Wellenschlag liegt diese Grenze höher als der eigentliche Wasserstand.

⁵⁸) Nach FISCHER hat sich die vorangegangene Verstärkung der Deichstrecken dahin ausgewirkt, daß sich die Überschwemmung in Eiderstedt auf ein Teilgebiet beschränkte. Nur in der Tümmelauer Bucht kam es zu Deichbrüchen.

„Zu Tönningen stieg am 3. Februar in einer Stunde die Fluth um 4 Fuß und um 12 Uhr nachts war jeder Widerstand wider die Wuth der Wellen vergeblich. Die Pfähle eines Bollwerkes zerbrachen und es entstand ein Deichbruch, der bald die niedrigen Theile der Stadt unter Wasser setzte. Der Schall der Sturmglocke mahnte die erschrockenen Einwohner zum Theil auf die Böden ihrer Häuser sich zu flüchten und was sie konnten von ihren Sachen dahin in Sicherheit zu bringen. Ein Bürger stürzte in der Verwirrung in seinen Keller und sezt dadurch das Leben zu. Die Fluth soll um 1 Fuß 5 Zoll höher gewesen seyn, als den 26ten Febr. 1726, den 11ten Oct. 1634, den 24.sten Dec 1717 und den 7ten Oct. 1756.“

Wenn man diesen Bericht mit dem sicher einige Zeit früher und aus dem unmittelbaren Erlebnis heraus entstandenen des Tönninger Organisten vergleicht, so hat man den Eindruck, als könnte dem Salchow-Bericht der des Tönninger Organisten zugrunde gelegen haben. Bemerkenswert ist, daß SALCHOW schreibt: *„Die Fluth soll um 1 Fuß 5 Zoll höher gewesen seyn...“*, während es in dem Tönninger Bericht heißt: *„Diese Fluth ist 1 Fuß 5 Zoll höher gewesen...“*

Bei der Aufzählung der vorhergehenden vier großen Fluten besteht eine Differenz. SALCHOW erwähnt eine Flut vom 26. Februar 1726, der Tönninger Bericht spricht von einer Flut vom 26. Februar 1626. Hier liegt sehr wahrscheinlich ein Schreibfehler von SALCHOW vor. Nach der Zusammenstellung in der Arbeit über die Häufigkeit hoher Wasserstände an der Westküste wird in keiner Quelle für das Jahr 1726 eine Sturmflut genannt, dagegen aber überall eine „hohe Eisflut“ vom 26. Februar 1625⁵⁹⁾. Diese Flut ist nach TETENS (SCHRÖDER 1833, FISCHER 1955) auch auf dem Stein am Schifferhaus vermerkt gewesen, ebenso wie die drei übrigen von SALCHOW erwähnten Fluten. Es ist auffallend, daß SALCHOW die angebliche Flut von 1726 zuerst nennt und dann die chronologische Reihenfolge 1634, 1717 und 1756 einhält. Der Tönninger Bericht zählt die Fluten dagegen genau chronologisch auf, wenn er auch irrtümlich 1626 statt 1625 schreibt. In seiner Zusammenstellung schreibt SALCHOW selbst: *„Die Flut vom 25. Febr. 1718 verschlang alle Deichreparaturen, welche mit unglaublicher Anstrengung ausgeführt waren und vermehrte das allgemeine Elend... Seit der Zeit ist für unsere Gegend nur erwähnbar die Fluth von 1756.“* Er nennt dabei allerdings nicht die in dem Tönninger Bericht erwähnten Fluten von 1745 bis 1751 und die von 1720/21. Die Flut von 1751 erwähnen auch FISCHER, BAUDISSIN und C. P. HANSEN, Akten darüber sind im Landesarchiv vorhanden. Im Landesarchiv Schleswig sind über eine Sturmflut von 1726 keine Schriftstücke gefunden worden. Es ist daher mit großer Sicherheit anzunehmen, daß die verschiedentlich in der Literatur (HUNDT 1955 und SCHELLING 1952) erwähnte besonders hohe Sturmflut vom 26. Februar 1726 gar nicht stattgefunden hat. Es liegt eine Verwechslung mit der Flut vom 26. Februar 1625 vor.

Die Ausführungen dieses Abschnittes über die Scheitelhöhen der Sturmfluten früherer Jahrhunderte ergänzen und bestätigen die Angaben von FISCHER (1955) und HUNDT (1955) im wesentlichen. FISCHER erwähnt in dem Band Eiderstedt (Seite 263) einen Bericht des Deichgrafen CORNILS vom 7. Februar 1825, in dem dieser auch Angaben über die Scheitelhöhe der Februarsturmflut 1825 in Tönning macht. Die betreffende Stelle des Berichtes von CORNILS (Landesarchiv Abt. 66 Nr. 3276a) lautet wörtlich:

Die bisher bekannte höchste Fluth trat im Jahre 1756 ein. Damals stand das Wasser in den am Hafen belegenden Häusern 4-5 Fuß hoch. Dieser Wasserstand wurde in einem Hause durch einen eingemauerten Stein bemerkt. Das Haus brandte ab und der ietzige

⁵⁹⁾ Nur BAUDISSIN erwähnt für 1725 eine Flut, ohne ein Datum anzugeben.

Besitzer Herr Agent Lexow ließ zur Sicherheit das Fundament des neuen Gebäudes um 1 Fuß (FISCHER schreibt irrtümlich um 1,8 m, d. Verf.) höher legen. Gleichwohl drang das Wasser auch diesmal bis zur Höhe eines Fußes ein, wodurch dann constirt, daß zu Tönning der Wasserstand bey der neulichen Sturmfluth wenigstens um 2 Fuß höher war, als im Jahre 1756.

Das Haus des Agenten LEXOW ist nicht identisch mit dem Schifferhaus, denn dieses stand noch 1835 im Eigentum der Schiffergilde (WOLFHAGEN 1836). Nach Abbildung 2 hat der Unterschied zwischen der Scheitelhöhe 1756 und 1825 nur rund 15 cm betragen und nicht 2 Fuß (rund 60 cm). Die Angaben von CORNILS, die unmittelbar nach der Sturmflut niedergeschrieben und daher wohl noch nicht genau überprüft waren, sind recht unbestimmt. Den gleichlautenden Angaben von SALCHOW und dem Tönninger Bericht von 1 Fuß 5 Zoll über 1634 oder 1717 dürfte größeres Gewicht beizumessen sein.

4. Zusammenfassung

Die im Tönninger Kirchenarchiv aufgefundenen Darstellungen über Sturmfluten früherer Jahrhunderte wurden in den vorstehenden Ausführungen mitgeteilt und mit anderen, bekannten Veröffentlichungen verglichen. Die Berichte bis zum Jahre 1663 lassen sich zum größten Teil auf die Nachrichten über Sturmfluten aus der Chronik von A. HEIMREICH (1666) zurückführen. Die Berichte über die Sturmfluten des 18. Jahrhunderts bringen manche bisher noch nicht bekannten Einzelheiten. Von besonderem Wert ist der Augenzeugenbericht des Organisten JOHANN HASSE über die Sturmflut vom 24./25. Dezember 1717. Die Angaben eines weiteren Augenzeugenberichtes über die Sturmflut vom 2./4. Februar 1825 lassen eine Rekonstruktion der Höhenlage der Scheitelwerte einiger historischer Sturmfluten in Tönning zu. Die Flut vom 7. Oktober 1756 ist in Tönning höher gewesen als die Flut vom 25. Dezember 1717. Eine außergewöhnlich hohe Sturmflut am 26. Februar 1726, die mehrfach in der Literatur erwähnt wird, hat es wahrscheinlich nicht gegeben.

5. Schriftenverzeichnis

- BAUDISSIN, GRAF A.: Blicke in die Zukunft der Nordfriesischen Inseln und der schleswigschen Festlandküste. Schleswig 1876.
- CLEMENT, K. J.: Die Lebens- und Leidensgeschichte der Friesen. Kiel 1845.
- DITTMER, E.: Neue Beobachtungen und kritische Bemerkungen zur Frage der „Küstensenkung“. Die Küste 1960.
- FISCHER, O.: Landgewinnung und Landerhaltung in Schleswig-Holstein, Band 3: Eiderstedt und Band 7: Hydrographie des Küstengebietes. Berlin 1955.
- HANSEN, C. P.: Chronik der friesischen Uthlande. Garding 1877
- HANSEN, R.: Beiträge zur Geschichte und Geographie Nordfrieslands im Mittelalter. Zeitschrift der Gesellschaft für Schleswig-Holsteinische Geschichte 1894.
- HEIMREICH, A.: Nordfriesische Chronik. Schleswig 1666.
- JASPER, J.: Chronicon Eiderostadense vulgare (1103—1547). Garding 1923.
- LANG, A. W.: Die „Weihnachtsflut“ vom 25. Dezember 1717. Nordseeküste, Abhandlungen des Küstenmuseums Juist, 1963, H. 7.
- ROHDE, H.: Sturmfluten und Hochwassermarken. Wasser und Boden 1964, H. 8.
- ROHDE, H.: Die Häufigkeit hoher Wasserstände an der Westküste von Schleswig-Holstein. Die Küste 1964.
- SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein. Die Küste 1952, H. 1.

- SCHRÖDER, H.: J. N. Tetens Nachrichten und Bemerkungen von einigen S. H. Orten und Gegenden. Neues Staatsbürgerliches Magazin I 1833.
- TÖDT, A.: Zur 600. Wiederkehr des Jahres der Manndränke 1362. Zwischen Eider und Wiedau, Heimatkalender für Nordfriesland 1963.
- WOEBCKEN, C.: Deiche und Sturmfluten an der Nordseeküste. Bremen-Wilhelmshaven 1924.
- WOLFHAGEN, F.: Beschreibung der Stadt Tönning. Neues Staatsbürgerliches Magazin IV 1836.
- o. V.: Denkmahl der Wasserfluth, welche im Februar 1825 die Westküste Jütlands und der Herzogthümer Schleswig und Holstein betroffen hat. Tondern 1825.