Die Küste, 30 (1977), 52-143

Sturmfluthöhen und säkularer Wasserstandsanstieg an der deutschen Nordseeküste

Von Hans Rohde

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden zunächst alle Angaben über die Scheitelhöhen von Sturmfluten früherer Jahrhunderte an der deutschen Nordseeküste zusammengestellt und kritisch gewertet. Diese Werte werden zusammen mit den seit dem vorigen Jahrhundert an denselben Orten an Pegeln gemessenen Sturmflutscheiteln über der Zeitachse aufgetragen. Man erkennt daraus einen allmählichen Anstieg der höchsten Wasserstände, der seit der Mitte des 16. Jahrhunderts im Mittel 25 cm im Jahrhundert beträgt. An vielen Pegeln der deutschen Nordseeküste liegt der Anstieg des MThw seit dem Beginn der regelmäßigen Messungen bis etwa 1920 ebenfalls zwischen 20 und 30 cm im Jahrhundert. Abweichungen davon sind durch anthropogene Einflüsse erklärbar. Aus dem gleich großen Anstieg der höchsten Sturmflutscheitel und des MThw wird geschlossen, daß das MThw auch seit dem 16. Jahrhundert im Mittel 25 cm in 100 Jahren angestiegen ist. Es wird versucht, Ursachen für den Wasserstandsanstieg anzugeben und Hinweise für den Verlauf der Wasserstandsganglinie von der Mitte des 16. Jahrhunderts bis zurück ins 1. Jahrtausend n. Chr. zu geben. In der Sturmfluthäufigkeit und in der Höhe der jährlich höchsten Thw lassen sich seit dem Ende des 18. Jahrhunderts periodische Schwankungen erkennen, die wahrscheinlich auf periodische Änderungen des Staueffekts zurückzuführen sind.

Summary

This paper presents a compilation and critical evaluation of storm surge high water levels on the German North Sea coast for a number of previous centuries. These levels are compared on a time axis to those measured since the previous century at the same locations. A gradual increase of an average of 25 cm per century is apparent since the 16th century. Since the beginning of regular measurements until about 1920, many German North Sea coastal water level gauges likewise show a MHW rise between 20 and 30 cm per century. Deviations from these values can be explained as resulting from man-made influences. It is concluded from the similar increases of the storm surge high water level and the MHW, that the MHW has also increased an average of 25 cm per 100 years since the 16th century. An attempt will be made to explain the causes for the water level increases and their variation from the middle of the 16th century back to the 10th century A.D. Periodic oscillations in the storm surge frequency and the height of the annual highest HW since the end of 18th century are apparent and are probably caused by periodical variations in the wind setup.

Inhalt

1. Einführung 53
2. Angaben über Scheitelhöhen von Sturmfluten in früheren Jahrhunderten . . 55
2.1 Allgemeines 55
2.2 Emden 56
2.3 Dangast 62
2.4 Hamburg 64
2.5 Cuxhaven 74
2.6 Geestemündung/Bremerhaven 77
2.7 Tönning 79

Die Küste, 30 (1977), 52-143

2.8 Nordfriesland 82
3. Der säkulare Wasserstandsanstieg 92
3.1 Der Wasserstandsanstieg seit der Weichseleiszeit 93
3.2 Der säkulare Anstieg der mittleren Tidewasserstände 97
3.3 Die Scheitelhöhen der jährlich höchsten Wasserstände und die Häufig
Wasserstände 109
3.4 Die Scheitelhöhen der höchsten Sturmfluten seit dem 16. Jahrhundert . . . 117
3.5 Folgerungen 131
4. Schlußbetrachtung 137
5. Schriftenverzeichnis 138

1. Einführung

In (86)*) wird der Frage nachgegangen, seit wann es an der deutschen Nordseeküste regelmäßige Wasserstandsbeobachtungen gibt und welche Ergebnisse exakter Wasserstandsbeobachtungen aus der Zeit vor der Mitte des 19. Jahrhunderts heute noch verfügbar sind und ausgewertet werden können. Die Untersuchungen ergaben, daß wahrscheinlich schon in dem letzten Viertel des 17. Jahrhunderts in Hamburg mindestens die Eintrittszeiten des Thw registriert wurden, wahrscheinlich auch die Höhen.

Der erste, der mit Sicherheit regelmäßige Wasserstandsbeobachtungen im Tidegebiet der Nordsee ausgeführt hat, war Albert Brahms. Etwa von 1720 bis 1752 hat er einen von ihm selbst konstruierten Pegel beobachtet, der am Jadebusen südlich von Sande gestanden hat. Das Originalbeobachtungsmaterial ist heute nicht mehr verfügbar. Brahms gibt lediglich eine mittlere Tidekurve an, deren Scheitelwerte nach Untersuchungen von Lüders auf NN bezogen werden können, und er bringt eine Häufigkeitsstatistik aller Thw, deren Scheitel mehr als 1 Fuß (0,31 m) über ordinärer Flut (etwa MThw) lagen (7).

Mit Sicherheit sind in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts an zahlreichen Pegeln in Ostfriesland regelmäßig Wasserstände beobachtet worden, wovon aber bisher keinerlei Beobachtungsdaten gefunden werden konnten. 1781 ist von Zitting auf Veranlassung von J. N. Tetens in Brunsbüttel ein Pegel eingerichtet worden. Für etwa 14 Tage sind die Beobachtungswerte in Tetens' Buch (101) angegeben. Weiteres Beobachtungsmaterial von Brunsbüttel aus dem 18. Jahrhundert konnte bisher nicht gefunden werden. Seit 1784 werden in Cuxhaven und seit 1786 in Hamburg regelmäßig Lattenpegel abgelesen und die Beobachtungswerte registriert. Diese Beobachtungen wurden bis etwa 1810 ausgeführt.

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts sind dann an vielen Orten Pegel eingerichtet und regelmäßig beobachtet worden. Von einigen dieser Pegel ist in den Archiven das Beobachtungsmaterial noch vorhanden und könnte zum Teil nach modernen Gesichtspunkten ausgewertet werden. Einzelheiten über das verfügbare Material sind in (86) angegeben.

Seit etwa der Mitte des 19. Jahrhunderts werden überall an der deutschen Nordseeküste zahlreiche Pegel bis heute durchgehend regelmäßig beobachtet, die Ergebnisse registriert und statistisch ausgewertet. Dieses Material ist bei den entsprechenden Dienststellen allgemein verfügbar; zum Teil wird es im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch – Küstengebiet der Nord- und Ostsee – veröffentlicht.

Neben den regelmäßigen Wasserstandsbeobachtungen, von denen bisher die Rede war und über die in (86) ausführlich berichtet wird, gibt es aber noch zahlreiche einzelne Wasser-

*) Die eingeklammerten Zahlen weisen auf die entsprechenden Angaben im Schriftenverzeichnis (Abschnitt 5) hin.

standsangaben aus früheren Jahrhunderten. Es sind allerdings fast ausschließlich Angaben über die Scheitelwasserstände von schweren oder sehr schweren Sturmfluten. Derartige Sturmfluten sind von jeher für die Küstenbewohner schwerwiegende Ereignisse gewesen. Häufig kamen Deichbrüche vor, Land wurde überschwemmt, Menschen und Vieh ertranken, Häuser wurden zerstört. Die schwersten Sturmfluten führten früher auch zu bleibenden Landverlusten. Es ist verständlich, daß die Menschen an verschiedenen Orten Marken anbrachten, die den höchsten, bei solchen schweren und sehr schweren Sturmfluten aufgetretenen Wasserstand anzeigten. Einige derartige Sturmflutmarken sind noch vorhanden. Darüber hinaus finden sich in der Literatur mehrere Angaben, wie hoch bei einzelnen Sturmfluten der Scheitelwasserstand eingetreten war. Diese Angaben sind zum Teil auf heute noch bestehende Gebäude oder auf andere bekannte Höhen bezogen, und ihre Höhe zu NN läßt sich rekonstruieren.

Die ältesten derartigen Wasserstandsangaben an der deutschen Nordseeküste stammen von den Allerheiligenfluten 1532 und 1570. Von diesen Sturmfluten wurde die gesamte deutsche Nordseeküste mehr oder weniger stark betroffen. Im Oktober 1634 ereignete sich eine für die Westküste von Schleswig-Holstein sehr schwere Sturmflut, die besonders für Nordfriesland schwerwiegende Folgen hatte. Von Tönning und Nordfriesland sind einige Höhenmarken dieser Sturmflut bekannt. Die Weihnachtsflut von 1717 betraf wieder die gesamte deutsche Nordseeküste. Über die Scheitelwerte dieser Sturmflut gibt es für mehrere Orte Angaben. Am Jadebusen, in der Nähe von Dangast, ist ein Stein gesetzt worden – angeblich von A. Brahms –, der die Scheitelhöhe von 1717 angibt.[1]) Abb. 1 zeigt diesen Stein zusammen mit den später für die Sturmflutmarken von 1825 und 1855 aufgestellten Steinen. Für zahlreiche Sturmfluten des 18. Jahrhunderts nach 1717 gibt es von mehreren Orten Höhenangaben. Sie sind häufig in Bezug zu der Scheitelhöhe von 1717 gesetzt.

Für Cuxhaven existieren von 1787 bis 1796 Angaben über die monatlichen HThw und von 1813 bis zum Beginn der regelmäßigen Wasserstandsbeobachtungen im Jahre 1841 Angaben über die jährlichen HThw. Da für Hamburg von 1786 bis 1808 vollständige Wasserstandslisten vorhanden sind, sind auch die Höhen aller in dieser Zeitspanne bei Tage eingetretenen Sturmfluten bekannt. Bis 1811 sind außerdem die höchsten Thw der einzelnen Monate in den Hamburgischen Addreß-Comtoir-Nachrichten angegeben (86). Für die Zeit danach sind bis zum Beginn der regelmäßigen Beobachtungen im Jahre 1841 nur noch die Höhen einiger schwerer und sehr schwerer Sturmfluten bekannt. Für die sehr schwere Sturmflut vom 3./4. 2. 1825 gibt es für viele Orte an der deutschen Nordseeküste Hochwassermarken und andere exakte Angaben über den Scheitelwasserstand.

Auf alle im vorigen Absatz genannten Angaben, mit Ausnahme der von Hamburg und Cuxhaven, wurde in der Arbeit „Wasserstandsbeobachtungen im Bereich der deutschen Nordseeküste vor der Mitte des 19. Jahrhunderts" (86) nicht näher eingegangen, es wurde lediglich erwähnt, daß für einzelne Sturmfluten aus früherer Zeit von einigen Orten Wasserstandsangaben bekannt sind. Die genannte Arbeit wurde bewußt auf systematische Wasserstandsbeobachtungen beschränkt. Aber auch die relativ wenigen Angaben über die Scheitelhöhen von Sturmfluten aus der Zeit vor der Mitte des 19. Jahrhunderts sind echte Wasserstandsbeobachtungen, die es wert sind, festgehalten zu werden. Im folgenden Kapitel sind daher alle Angaben über die Scheitelhöhen von Sturmfluten vor der Mitte des 19. Jahrhunderts an Orten der deutschen Nordseeküste zusammengestellt worden, soweit sie bisher bekannt sind. Insofern ist die vorliegende Arbeit als Ergänzung von (86) anzusehen. Dar-

[1]) Brahms selbst erwähnt diesen Flutstein in (7) jedoch nicht.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

über hinaus wird im Abschnitt 3.4 versucht, die Angaben über die Sturmflutscheitelhöhen zu verwenden, um Aussagen über den säkularen Wasserstandsanstieg an der deutschen Nordseeküste bis zurück ins 16. Jahrhundert zu erhalten. Das gesamte Kapitel 3 behandelt den säkularen Wasserstandsanstieg, wie er sich nach dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse für die deutsche Nordseeküste darstellt.



Abb. 1. Die Dangaster Flutsteine von 1717, 1825 und 1855

2. Angaben über Scheitelhöhen von Sturmfluten in früheren Jahrhunderten

2.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten 2.2 bis 2.8 sollen alle Angaben zusammengestellt werden, die bisher über die Scheitelhöhen von Sturmfluten aus der Zeit vor der Mitte des vorigen Jahrhunderts von Orten an der deutschen Nordseeküste bekannt sind. Zum größten Teil handelt es sich dabei um Werte, die bereits an anderer Stelle veröffentlicht worden sind, zum Teil aber auch um Angaben, die bei der Arbeit für das Forschungsvorhaben „Erfassung und Sicherung von Wasserstandsangaben aus der Zeit vor der Mitte des 19. Jahrhunderts im Bereich der deutschen Nordseeküste", über das in (86) berichtet wird, in verschiedenen Archiven gefunden wurden. Abgesehen von einigen Einzelwerten sind es nur sieben Orte oder engere Bereiche an der deutschen Nordseeküste, für die aus der Zeit, bevor es regelmäßige Pegelbeobachtungen gab, jeweils Höhenangaben von mehreren Sturmfluten ermittelt werden konnten. Diese Angaben werden für jeden dieser Orte in einem besonderen Abschnitt behandelt. Da es sich – mit Ausnahme der Angaben für Hamburg und Cuxhaven ab 1786 – nicht um Beobachtungen an Pegeln handelt, deren Nullpunkte verhältnismäßig genau auf das heutige NN bezogen werden können, sind alle Höhenangaben mehr oder weniger ungenau. Daher wird in den folgenden Abschnitten versucht, alle Höhenangaben kritisch zu werten. Nur die Höhenangaben werden im Abschnitt 3.4 weiterverwendet, die als einigermaßen sichere Werte angesehen werden können. In Abb. 2 sind die sieben Orte oder Bereiche eingetragen; es sind Emden, Dangast, Bremerhaven, Cuxhaven, Hamburg, Tönning und für den Bereich Nordfriesland Husum, Hooge und Dagebüll. Wie aus Abb. 2 zu erkennen ist, wird durch diese Orte praktisch die gesamte deutsche Nordseeküste erfaßt.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

2.2 Emden

An der Kirche des Dorfes Suurhusen, 5 km nördlich von Emden, befindet sich eine Sturmfluthöhenmarke von der Allerheiligenflut 1570 (1), (2), (34), (42) und (46). Abb. 3 zeigt diese Flutmarke an der Westmauer des Kirchturmes. Die Allerheiligenflut 1570 war eine der großen Katastrophenfluten, die die gesamte deutsche Nordseeküste heimgesucht haben, sie ist bei allen in (75) genannten Autoren erwähnt. Von dieser Sturmflut wurden

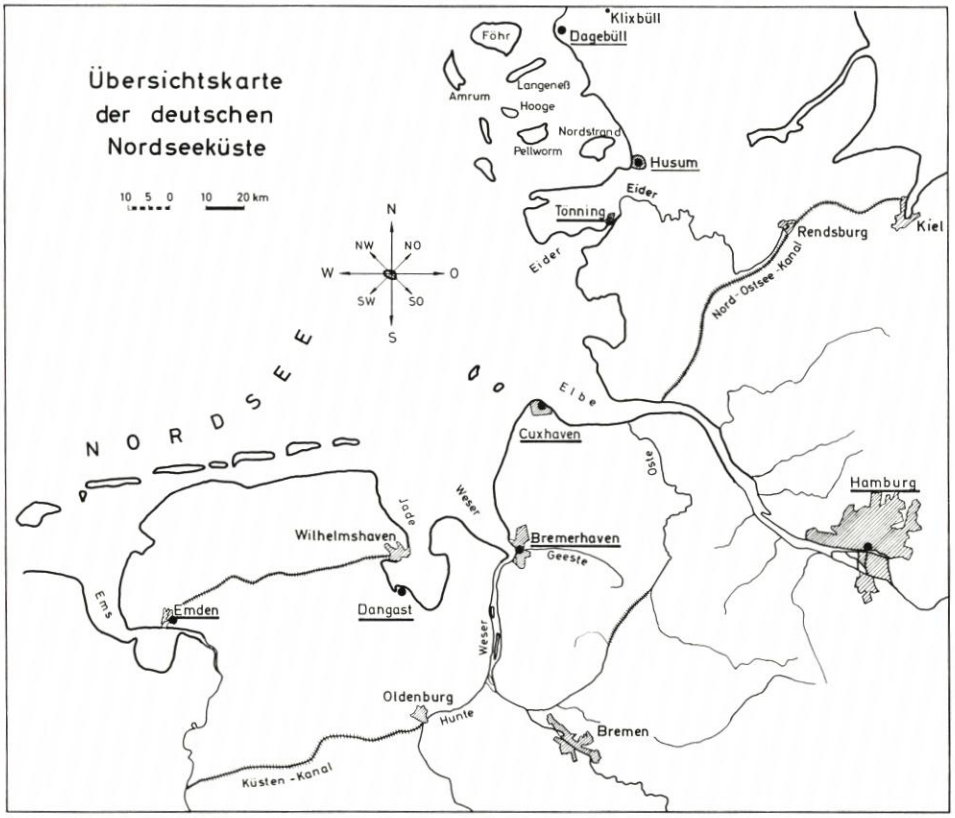


Abb. 2. Übersichtskarte der deutschen Nordseeküste

am stärksten die Niederlande und der westliche Teil der deutschen Nordseeküste betroffen; die östlich der Wesermündung angerichteten Schäden waren wohl weniger schwer als die in Ostfriesland (34). Zum 400. Jahrestag der Allerheiligenflut ist in den Niederlanden eine ausführliche Dokumentation über diese Flutkatastrophe erschienen. HOMEIER hat dazu einen Beitrag für den Bereich der ostfriesischen Küste geliefert (34), in dem sehr genau die Überschwemmungsflächen, bleibende Landverluste sowie Verluste an Menschenleben und Sachwerten beschrieben werden. Nach den Untersuchungen von HOMEIER wurden große Flächen in Ostfriesland überschwemmt, sie entsprechen weitgehend den Überschwemmungsflächen von 1717, wie sie von LANG (48) ermittelt wurden. Das Gebiet um Emden war in beiden Jahren vollständig überschwemmt. Zahlreiche Deichbrüche waren aufgetreten. Von der Flut von 1570 wird übereinstimmend berichtet, daß die Deiche an

Die Küste, 30 (1977), 52-143

vielen Stellen überströmt wurden. Die Deiche waren damals nicht so hoch wie zu Beginn des 18. Jahrhunderts. Die bleibenden Landverluste nach der Sturmflut von 1570 sind nach (105) und (34) wesentlich geringer gewesen als bei den Katastrophenfluten früherer Jahrhunderte. Die Höhenmarke von Suurhusen wird in (46), (42) und (34) mit NN + 440 cm angegeben.

Die Höhenmarke am Turm der Kirche Suurhusen ist ein heller Kalksandstein, in den eine horizontale Kerbe eingeschlagen ist. Eine Jahreszahl, die die Marke näher identifiziert, ist nicht vorhanden. Erstmals in (67) wird die Kirche Suurhusen im Zusammenhang

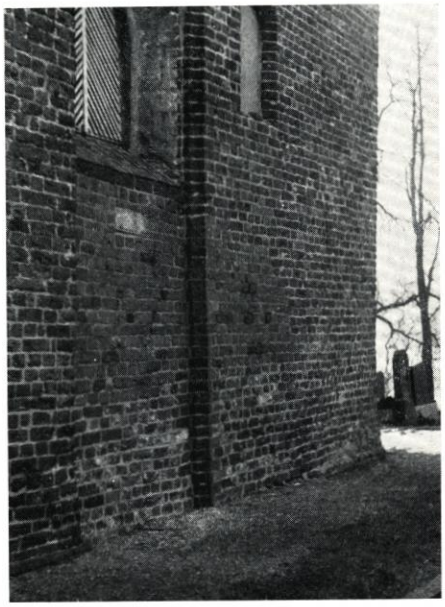


Abb. 3. Sturmflutmarke von Suurhusen

mit der Allerheiligenflut von 1570 erwähnt. OUTHOF (67) beschreibt eine Gedenktafel, die sich in der Kirche befindet und über die Flut berichtet. Diese hölzerne Tafel, die 1866 restauriert wurde und heute noch vorhanden ist, ist mehrfach in der Literatur beschrieben worden, u. a. in (67), (29), (34) und (42), wo auch der vollständige Text angegeben wird. Als erster berichtet HARKENROHT (29), daß er, als er 1711 in der Kirche von Suurhusen war, eine Markierung der Flut von 1570 an dem Turm festgestellt habe. ARENDS (1) teilt mit, daß die Höhe der Allerheiligenflut noch in einem Zeichen am Kirchturm Suurhusen zu sehen sei. Bei beiden Angaben kann nur der genannte Stein gemeint sein. Die Überlieferung, daß dieser Stein mit der Kerbe die Sturmflutmarke von 1570 ist, konnte bisher nicht weiter zurückverfolgt werden. Im Zusammenhang mit der Gedenktafel in der Kirche ist die Überlieferung aber durchaus glaubhaft.

Auf Veranlassung von Herrn Dr.-Ing. JANSSEN, Aurich, wurde die Höhe der Marke 1956 vom Wasser- und Schiffahrtsamt Emden eingemessen; sie lag auf NN + 433 cm. Auf Bitten des Verfassers wurde die Höhe Anfang 1976 kontrolliert. Die Höhe des Erdbodens am Kirchturm (Oberfläche der Kirchwarft) liegt auf etwa NN + 2 m, das Gelände um die Warft auf NN ± 0 m. Die Höhenangabe von 440 cm über NN ist so entstanden, daß man mit dem Zuschlag von 7 cm seit 1570 eingetretene Setzungen berücksichtigen wollte. In

der Tat steht der Kirchturm extrem schief, nach (68) und (57) hängt er mehr als 1,20 m nach Westen über. Diese Schiefstellung braucht aber bei der Ermittlung der ursprünglichen Höhe der Flutmarke nicht berücksichtigt zu werden. Nach (68) ist die Kirche um 1260 gebaut worden, und zwar zunächst ohne Turm. Um 1450 hat man den westlichen Teil des Kirchenschiffes um etwa 6 m verkürzt und einen wuchtigen, schweren Turm im Westen an das Kirchenschiff gesetzt. Der Grundriß des Turmes ragt etwa 4,2 m über das frühere westliche Ende des Kirchenschiffes hinaus. Da der Baugrund unter diesem Teil des Turmes wesentlich weniger konsolidiert war als unter dem, der schon vorher durch das abgebrochene Kirchenschiff belastet war, mußte es sehr schnell zu stärkeren Setzungen an der Westseite und damit zu der Schiefstellung des Turmes kommen. Die Setzungen waren aber zum überwiegenden Teil im Jahre 1570, also nach etwa 120 Jahren, abgeklungen. Die Flutmarke muß daher bereits an dem schiefgestellten Turm angebracht worden sein. Dagegen muß man aber ein Kriechen des Baugrundes, der hier wie überall in der Marsch aus Kleiboden mit Torfeinschlüssen besteht, unter der Belastung durch den Kirchenbau und ihrer Veränderung infolge des Turmbaus im Jahre 1450 berücksichtigen. Die durch das Kriechen verursachten Setzungen erstrecken sich über eine wesentlich längere Zeit als die Setzungen aus der Konsolidierung des Bodens. Die Größe dieser Setzung ist nach neueren Forschungen unter anderem von der Mächtigkeit der Kleischicht, einem Kriechkoeffizienten und der seit der Konsolidierung vergangenen Zeit abhängig. Nach überschläglichen Berechnungen können seit 1570 bei der Kirche Suurhusen noch Setzungen in der Größenordnung von 10 bis 20 cm eingetreten sein. Genauere Werte lassen sich nur durch Aufschlußbohrungen und Bestimmung der bodenmechanischen Kennwerte aus ungestörten Bodenproben ermitteln. Nach diesen Überlegungen soll die ursprüngliche Höhenlage der Flutmarke von 1570 mit einem mittleren Wert von NN + 448 cm (NN + 433 cm + 15 cm) angenommen werden. Dieser Wasserstand ist zwar der Wasserstand im überschwemmten Hinterland, der Wasserstand in der Ems unmittelbar vor Emden dürfte aber kaum wesentlich höher gewesen sein, da die noch relativ niedrigen Deiche sehr früh überströmt wurden und an zahlreichen Stellen brachen.

An der Nordwand im Durchgang des Rathauses der Stadt Emden befindet sich u. a. eine Höhenmarke der Flut von 1570. Nach einer Einmessung, die das WSA Emden auf Bitten des Verfassers vorgenommen hat, liegt sie auf NN + 446 cm, entspricht also fast genau dem oben ermittelten Wert. Wann die Höhenmarke angebracht worden ist und woher sie stammt, konnte nicht mit absoluter Sicherheit ermittelt werden. Das Rathaus Emden wurde 1944 durch einen Fliegerangriff zerstört und 1959 bis 1962 wiederaufgebaut. Die jetzt im Rathausdurchgang vorhandenen Sturmflutmarken vom 2. 11. 1570, 2. 3. 1825 und 21. 10. 1845 sind dort erst beim Wiederaufbau angebracht worden. Wahrscheinlich sind Marken für diese Sturmfluten und für zwei weitere schon am 1944 zerstörten Rathaus vorhanden gewesen. Nach den offenbar bekannten Höhenangaben der alten Marken wurden die neuen Marken durch Nivellement beim Wiederaufbau eingemessen. Welche Sturmflutmarken an dem 1944 zerstörten Rathaus vorhanden waren und wo sie sich befunden haben, konnte bisher nicht festgestellt werden. Die Meinungen gehen darüber auseinander.[2]) Die Marke von 1570 kann aber auf keinen Fall unmittelbar nach der Sturmflut am Rathaus angebracht worden sein, denn das Rathaus ist an der jetzigen Stelle erst 1574

[2]) Nach einem Brief des früheren städtischen Baurats A. Langeheine vom 31. 3. 1976 an Herrn Dipl.-Geogr. D. Steen vom WSA Emden auf Grund von Auskünften des Stadtbaurats a. D. P. Diederichs, Koblenz, und des Architekten D. Wessel, Bremen. Der Verfasser ist Herrn Steen für seine Nachforschungen und für das Veranlassen des Nachmessens der Marken in Emden und Suurhusen sehr dankbar.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

bis 1576 gebaut worden. Die Höhe für die Sturmflutmarke kann also frühestens einige Jahre nach der Sturmflut von einer an anderer Stelle vorhandenen Marke nach dem Rathaus übertragen worden sein. Daß sich für den Sturmflutscheitel in der Ems bei Emden für 1570 nach zwei ganz unterschiedlichen Ermittlungen fast übereinstimmende Werte ergeben, spricht dafür, daß man als Scheitelhöhe einen Wert zwischen NN + 446 cm und NN + 450 cm als richtig annehmen kann. Dieser Wert kann mit späteren Sturmflutscheitelhöhen in Beziehung gesetzt werden, weil sich die Topographie der Emsmündung, soweit sie sich auf die Höhen der sehr schweren Sturmfluten auswirken kann, seitdem nicht wesentlich geändert hat. Der Dollart war bereits vorhanden, der Durchbruch der Ems durch die Halbinsel zwischen der großen Emsschleife und dem Dollart war schon 1509 erfolgt (82).

Die Höhe der Weihnachtsflut 1717 ist nach (2) auch in zahlreichen Kirchen in Ostfriesland angemerkt worden. Eine Höhenmarke an der Kirche von Suurhusen soll nach (2) 2″ (5 cm) über der von 1570 gelegen haben. In (1) wird allerdings keine Höhenmarke am Turm erwähnt, sondern nur gesagt, daß die Weihnachtsflut 2″ höher als die Allerheiligenflut gewesen sei, eine Angabe, die sich auch schon in (67) findet. Tatsächlich ist auch außer dem Stein von 1570 keine Flutmarke am Turm vorhanden. Im Jahre 1717 dürfte die Marke von 1570 6 bis 10 cm unter ihrer ursprünglichen Höhe gelegen haben, also etwa auf NN + 440 cm. Die Höhe des Sturmflutscheitels von 1717 ergibt sich dann zu NN + 445 cm. Auch bei dieser Höhenangabe handelt es sich lediglich um den Wasserstand im überschwemmten Hinterland. Das Gebiet um Emden war 1717 in ähnlichem Umfang überschwemmt wie 1570 (48). Zwischen Larrelt und Emden befand sich ein großer Deichbruch, der auf einer Karte in (61) zu erkennen ist. Durch diesen Deichbruch ist ein großes Schiff bis nach Suurhusen getrieben worden. Bei einer weiteren sehr hohen Flut – wahrscheinlich im Februar 1718 – kam es wieder flott und konnte durch den Larrelter Kolk wieder in die Ems gebracht werden (1). Arends zitiert in (2) eine Quelle, wonach die Höhe der Sturmflut vom 21. 3. 1791 19 Fuß über ordinärer Flut gelegen habe und 6 Fuß über der von 1717. Danach hätte die Flut von 1717 13 Fuß über der ordinären Flut gelegen. Die Höhenangabe für 1791 ist jedoch, wie schon in (2) bemerkt wird, keinesfalls zutreffend. Die Flut von 1825 wird in verschiedenen Quellen mit 12 Fuß über ordinärer Flut angegeben. Daß der Scheitel der Flut von 1791 7 Fuß oder 2,20 m höher gelegen hat, ist unmöglich. Arends meint, daß die Flut von 1791 nicht so hoch gewesen sei wie die von 1776.

Für den 15. 11. 1775 findet sich in (2) die Angabe, daß das Wasser in Emden 9′ 7″ über ordinäre Flut stieg (= 300 cm), und bei der Sturmflut vom 21. 11. 1776 soll der Wasserstand noch 2 Fuß höher gewesen sein als 1775 (= 363 cm). Beide Sturmfluten sind nach (105) für die Niederlande und die Emsmündung als sehr schwere Sturmfluten überliefert; im östlichen Teil der deutschen Nordseeküste sind sie weniger bekannt und werden von den maßgebenden Autoren nicht erwähnt (75). Nur Woltmann (108) gibt für die Sturmflut vom 15. 11. 1775 eine allerdings relativ niedrige Scheitelhöhe in Hamburg an. Die Höhenangaben für Emden von 1775 und 1776 sind deshalb besonders wertvoll, weil zu der damaligen Zeit mit Sicherheit schon an den Emder Sielen Pegel gestanden haben (86), wenn auch echtes Beobachtungsmaterial bisher nicht gefunden werden konnte. Die Wasserstandsangaben werden sich aber wahrscheinlich auf einen dieser Pegel beziehen. Leider gibt Arends nicht an, aus welcher Quelle die Angaben stammen; sie sind aber durchaus glaubhaft. Die Scheitelhöhe von 1776 liegt nur 5 Zoll (nach rheinländischem Maß 13 cm) unter dem für 1825 angegebenen Scheitelwert von 12 Fuß, (2) und (61). Nach (105) soll der Sturmflutscheitel in Emden 1717 9 Zoll (24 cm) höher gewesen sein als 1776, also 387 cm über ordinärer Flut von 1775. Auch Woebcken nennt die Quelle für diese Angabe nicht. Es könnte sein, daß man eine am Hafen Emden früher vorhandene Höhenmarke

der Weihnachtsflut 1717 nach der Sturmflut vom November 1776 auf den bestehenden Pegel bezogen hat. Um den absoluten Scheitelwasserstand von 1717 mit einiger Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, ist es demnach erforderlich, die Höhe der ordinären Flut in Emden um 1775 zu kennen.

Arends (2) erwähnt noch, daß die Sturmfluten vom 31. 12. 1720, 24. 11. 1736, 11. 9. 1751 und 7. 10. 1756 an einigen Orten in Ostfriesland höher aufgelaufen seien als die Flut von 1717. Diese Beobachtung stimmt durchaus mit der von anderen Orten, z. B. Tönning und Hamburg, überein. Eine echte höhenmäßige Einordnung ist jedoch mit diesen Angaben nicht möglich. Wie schon an anderer Stelle erwähnt, (74) und (84), ist diese Tatsache an manchen Orten vielleicht darauf zurückzuführen, daß im Gegensatz zu 1717, wo überall in größtem Umfange Deichbrüche eintraten, bei den späteren Fluten die Deiche gehalten haben. Am Jadebusen wird der Sturmflutscheitel von 1736 2′ 2″ niedriger angegeben als 1717 (7).

Die Scheitelhöhe der Februar-Sturmflut von 1825 wird in (2) und (61) übereinstimmend mit 12 Fuß über ordinärer Flut angegeben. In einer im Staatsarchiv Aurich vorhandenen Zeichnung der 1846/48 erbauten Nesserlander Schleuse aus dem Jahre 1863 ist eine Pegelskala eingezeichnet und der Sturmflutwasserstand von 1825 mit 12 Fuß über dem Nullpunkt dieses Pegels eingetragen, der auf ordinärer Flut gelegen haben soll (siehe Abb. 26 in (86)). Diese Pegelskala ist heute noch vorhanden, sie wird als Abb. 11 in (86) gezeigt. Nach einer 1973 vorgenommenen Einmessung (86) liegt der Nullpunkt auf NN + 88 cm. Die Einteilung ist in rheinischen Fuß gemacht; der in der Zeichnung von 1863 angegebene Sturmflutscheitel von 12 Fuß am Pegel (= 3,77 m) lag demnach auf NN + 465 cm. Es ist die Frage, ob der Nullpunkt des 1848 eingerichteten Pegels die ordinäre Fluthöhe von 1825 richtig wiedergibt. Dafür spricht die folgende Überlegung: An den Emder Sielen befanden sich schon seit dem letzten Drittel des 18. Jahrhunderts regelmäßig beobachtete Pegel, für die sicher auch die Höhe der ordinären Flut bestimmt worden war. Die Annahme liegt nahe, daß man nach den Wirren der napoleonischen Kriege und der Besatzungszeit auf Grund der Anordnung zur Neuordnung des Pegelwesens (siehe Anordnung vom 6. 12. 1804, Anhang zu (86)) die Höhe der ordinären Flut an den Emder Pegeln neu festgestellt hat. Aus der Zeit von 1816 bis 1824 sind im Stadtarchiv Emden zahlreiche Beobachtungswerte von Wasserständen am Emder Stadtsiel vorhanden. Es ist sehr wahrscheinlich, daß man aus derartigen Werten die ordinäre Fluthöhe bestimmt und diese Höhe beim Bau der Schleuse als Nullpunkt für den an der Nesserlander Schleuse einzurichtenden Pegel dorthin übertragen hat. Wenn man die Ausgleichsgeraden der 19jährigen übergreifenden Mittel des MThw in Abb. 10 nach rückwärts verlängert, so entspricht der Wert für 1800 (1791/1809) genau dem Pegelnull des alten Pegels mit NN + 88 cm. Diesen Wert hat man wahrscheinlich beim Bau der Schleuse noch als maßgebende ordinäre Fluthöhe angesehen. Allerdings wurden im Stadtarchiv Emden auch einige Wasserstandsaufzeichnungen von einem Pegel „an der Ems bei Nesserland“ gefunden. Es ist aber nach den vorstehenden Überlegungen nicht wahrscheinlich, daß an diesem Pegel die ordinäre Flut als Nullpunkt für den Pegel an der Schleuse bestimmt worden ist.

Wie oben schon erwähnt, befindet sich auch von der Sturmflut vom 3. Februar 1825 im Durchgang des Emder Rathauses eine Höhenmarke. Nach einer im Januar 1976 vorgenommenen Einmessung des WSA Emden liegt sie auf NN + 465 cm, stimmt also mit der oben ermittelten Höhe genau überein. Ob es sich bei der wahrscheinlich an dem Rathaus vor dessen Zerstörung vorhanden gewesenen Höhenmarke, die man beim Wiederaufbau übertragen hat, um eine 1825 unmittelbar nach der Sturmflut angebrachte gehandelt hat, ist nicht bekannt.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

1855 wurde an der Nesserlander Schleuse eine neue hölzerne Pegellatte in Hannoverschem Maß angebracht. Es ist der Pegel, an dem die seitdem vorhandenen regelmäßigen Wasserstandsbeobachtungen vorgenommen wurden. Er ist heute nicht mehr vorhanden. Sein Nullpunkt, der der Höhe der ordinären Flut von 1855 entsprach, lag nach der oben erwähnten Zeichnung in (86) 4 Hannoversche Zoll (9,76 cm) über dem Nullpunkt des in das Schleusenmauerwerk eingehauenen alten Pegels, also auf rund NN + 0,98 m. Wahrscheinlich hat man bei den langjährigen regelmäßigen Beobachtungen des Pegels gemerkt, daß der Nullpunkt nicht mehr der Höhe der ordinären Flut entsprach. Man hat dann aus den Beobachtungen mehrerer Jahre oder nur des Jahres 1855 (s. Abschnitt 3.2) eine neue mittlere ordinäre Fluthöhe bestimmt, die dem MThw gleichgesetzt werden kann und hat den Pegelnullpunkt um die Differenz von rund 10 cm erhöht. Extrapoliert man in Abb. 10 weiter rückwärts bis 1766 (1757/75), so erhält man ein MThw von NN + 0,75 m, auf das man die in (2), (61) und (105) genannten Höhenangaben für 1775, 1776 und 1717 beziehen kann. Die so ermittelte Höhe für 1717 liegt 17 cm über der oben ermittelten Fluthöhe von 1717 in Suurhusen. Dieser Wasserstandsunterschied zwischen Suurhusen und Emden ist gering. Man kann aber auch hier annehmen, daß durch große und relativ früh eingetretene Deichbrüche sehr große Wassermassen in das Hinterland eindrangen und hier Wasserstände verursachten, die nur wenig unter denen im freien Ästuar lagen, wenn der Unterschied auch größer war als 1570.

Auch für die Sturmflut vom 21. 10. 1845 befindet sich eine Höhenmarke am Emder Rathaus. Die dort eingemessene Höhe ist NN + 421 cm. Nach (47) stieg diese Flut 10′ 1″ (316 cm im Rheinländischen Maß) über die gewöhnliche Flut an. Für die Zeit vom August 1847 bis August 1848 sind im Stadtarchiv Emden die Ergebnisse von täglichen Ablesungen des Pegels an der Schleuse Nesserland vorhanden (86). Das Beobachtungsheft ist von LAHMEYER unterschrieben. Als Mittelwert aus diesen 13monatigen Beobachtungen ergibt sich 8″ (21 cm) über PN. Da die Beobachtungen offenbar an dem alten Pegel vorgenommen wurden, dessen Nullpunkt auf NN + 88 cm liegt, ergibt sich als MThw 1847/48 NN + 109 cm. Bezieht man den Sturmflutscheitel von 1845 nach (47) auf diesen Wert, so erhält man NN + 425 cm, einen Wert, der fast mit dem am Rathaus eingemessenen übereinstimmt. Der Scheitel der Sturmflut vom 9. 4. 1847 soll 2′ unter dem von 1825 gelegen haben (47), also etwa auf NN + 402 cm.

Die sich nach den vorstehenden Ausführungen ergebenden Scheitelwerte der genannten Sturmfluten in Emden sind nachfolgend zusammengestellt. Weil der Wert von 1570 relativ zu den anderen Werten mit einer größeren Unsicherheit behaftet ist, wurde er eingeklammert.

1. 11. 1570	NN (+ 448 cm)
24. 12. 1717	NN + 462 cm
15. 11. 1775	NN + 375 cm
21. 11. 1776	NN + 438 cm
3./4. 2. 1825	NN + 465 cm
21. 10. 1845	NN + 421 cm
9. 4. 1847	NN + 402 cm

Für andere Orte in Ostfriesland lassen sich aus dem bisher bekannten Material keine entsprechenden Scheitelhöhen angeben. In (2) werden lediglich die Scheitelhöhen für die Sturmflut 1825 in bezug auf die Höhe der ordinären Flut für Norden (nach (61) „Am Norddeiche"), Neßmersiel, Westeraccumersiel, Friedrichsschleuse, Ditzum und Jemgum mitgeteilt. An allen diesen Orten haben sich nach (86) zu der damaligen Zeit wahrschein-

Die Küste, 30 (1977), 52-143

lich Pegel befunden. Die Höhe der ordinären Flut zu NN ist aber nicht bekannt. Für Larrelt, das unmittelbar westlich von Emden liegt, findet sich in (61) die Mitteilung, daß 1825 die Flut 20 Zoll höher war als 1717. 20 Zoll sind 52 cm in Rheinischem und 49 cm in Hannoverschem Maß. Der Scheitel von 1717 würde demnach auf NN + 413 cm oder NN + 416 cm gelegen haben. Diese Angabe kann nicht stimmen, denn die Höhe würde rund 30 cm unter der Höhenmarke für 1717 im Hinterland bei Suurhusen gelegen haben. HOMEIER veröffentlicht in (33) eine Tabelle der Katastrophenfluten in Ostfriesland. Dabei gibt er auch an, welche Höhenangaben für die Fluten bekannt sind. Abgesehen von der Marke von Suurhusen teilt er nur mit, daß bei der Flut vom 26. 9. 1509 das Wasser überall „1 Tonne" über allen Deichen stand. Für die Sturmflut vom 9. 10. 1377 wird angegeben, (105) und (33), daß die Wogen an die Mauern des Dominikanerklosters zu Norden schlugen. Zwar ist der Ort bekannt, wo früher das Kloster in Norden gestanden hat, eine brauchbare Höheneinordnung läßt sich aus der genannten Mitteilung aber ebensowenig ableiten wie aus der über die Flut von 1509.

2.3 Dangast

Von dem schon im Abschnitt 1 erwähnten Dangaster Flutstein von der Weihnachtsflut 1717 (siehe Abb. 1) wird in (2) und (61) gesagt, daß er von dem Deichrichter Albert BRAHMS gesetzt worden sei. BRAHMS selbst erwähnt diese Tatsache in seinem Buch (7) allerdings nicht. Er gibt den Scheitelwert dieser Sturmflut mit 12′ 4″ Rheinländisches Maß (1′ = 12″ = 31,4 cm) über ordinärer Flut an, das entspricht im metrischen System 3,86 m. 1825, 1855 und 1906 wurden für die höchsten Sturmfluten dieser Jahre weitere Flutsteine aufgestellt. Alle diese Steine standen ursprünglich auf einer Geesthöhe südwestlich von Dangast, der „Wulfsgast", die im Zuge des Deiches von 1653 liegt. In (55) ist ein Lageplan des ursprünglichen Standortes enthalten. Man kann davon ausgehen, daß die Sturmflutscheitel an einer „verhältnismäßig ruhigen Bucht" gemessen worden sind[3]), also keinen Wellenauflauf enthalten. BRAHMS (7) betont auch ausdrücklich, daß der von ihm genannte Scheitelwert für 1717 wie auch für einige spätere Sturmfluten „nach ebenem und stillem Wasser gerechnet" ist.

Die Höhenmarken der genannten 4 Flutsteine wurden 1907 von KUHLMANN eingemessen und ihre Höhenlage zu NN bestimmt. 1916 wurde ein zweites Nivellement von KARWICK ausgeführt[4]), das praktisch gleiche Ergebnisse lieferte. Diese Meßwerte legt LÜDERS seinen Ermittlungen in (55) zugrunde. Unter Berücksichtigung von Setzungserscheinungen von 6 cm im Jahrhundert ermittelt er die ursprüngliche Höhe der Flutsteine und damit der Sturmflutscheitel. Gegenüber der Einmessung von 1907 berichtigt er den Wert für 1717 um 11 cm, den von 1825 um 5 cm und den von 1855 um 3 cm. Demnach hat der Scheitel der Sturmflut von 1717 auf NN + 490 cm gelegen. Andere Autoren, (105), (46) und (33), geben ihn mit 489 cm an. Nach LÜDERS (55) lag die Sturmflut 1825 auf NN + 521 cm, nach (46) und (33) auf NN + 526 cm. Die Sturmflut von 1906 wird von LÜDERS mit NN + 527 cm, in (46) und (33) mit NN + 535 cm und in (105) mit NN + 533 cm angegeben. Nach den vorstehenden Ausführungen beträgt der absolute Höhen-

---

[3]) Nach einem in einem Schreiben von Herrn Reg.Dir. a. D. Dr.-Ing. LÜDERS an den Verfasser vom 29. 10. 1975 mitgeteilten Auszug aus einem Manuskript von W. KRÜGER aus dem Jahre 1924.

[4]) Schreiben von Herrn Dr. LÜDERS vom 29. 10. 1975.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

unterschied zwischen den Scheitelhöhen der Sturmfluten von 1717 und 1825 31 cm, berücksichtigt man die von LÜDERS angegebene Setzung von 6 cm in 100 Jahren, so hat im Jahre 1825 der Höhenunterschied zwischen beiden Marken 37 cm betragen, wie er auch 1907 gemessen wurde. Nach (2) und (61) soll aber der Unterschied zwischen den beiden Sturmflutscheiteln in Dangast 2 bis 3 Fuß gewesen sein, das wären 63 bis 94 cm. In (61) findet sich an anderer Stelle der Hinweis, daß die Flut von 1825 „den glaubwürdigsten Dokumenten und Nachrichten, auch dem bei Dangast stehenden Steine zufolge über 3 Fuß höher gewesen als die vom 25. 12. 1717". Diese Angaben sind aber wohl nicht richtig, sie beruhen sicherlich nicht auf echten Messungen, sondern mehr auf allgemeinen Aussagen. Dort, wo genaue Höhenwerte vorliegen, wie in Tönning (74) und Hamburg (2), sind die Unterschiede zwischen beiden Scheitelwerten geringer und entsprechen dem, der sich durch die Einmessung der beiden Dangaster Flutsteine im Jahre 1907 ergeben hat, besser. Es sollen daher die von LÜDERS (55) auf Grund der Einmessung von 1907 ermittelten Werte als richtig unterstellt werden. Die Bemerkungen von ARENDS (2) über den Unterschied zwischen den Scheitelhöhen sind eher zutreffend. Er schreibt: „indeß läßt sich nach diesen Angaben mit ziemlicher Gewißheit folgern, daß die jetzige Fluth die von 1717 an den Seeküsten im Osten um fast 2 Fuß überstiegen hat; im Westen ist solche vielleicht nicht so hoch gewesen als die von 1570." Fast 2 Fuß entspricht recht gut dem für Tönning bekannten Unterschied von 1′ 5″ (74).

BRAHMS (7) gibt außer für die Sturmflut von 1717 noch für die vom 31. 12. 1720 (9′ 6″), 24. 11. 1736 (10′ 2″) und 18. 2. 1742 (11′ 0″) die Höhen über ordinärer Flut an, und zwar für eine Beobachtungsstelle „an dem westlichen Sinu, alwo die Grafschaft Oldenburg an der Herrschaft Jever grenzet". Dieser Ort lag rund 4 km südöstlich des heutigen Ortes Sande vor dem 1653 gebauten Deich (118). Da nach den Ausführungen des vorigen Absatzes der Scheitel von 1717 zu NN für Dangast bekannt ist, ergeben sich damit auch die absoluten Höhen der anderen 3 Fluten, wenn man annimmt, daß die für den Ort bei Sande von BRAHMS angegebenen Differenzen der Scheitelwerte auch für Dangast gelten. LÜDERS teilt in (55) weiter mit, daß er durch eine Sonderuntersuchung die Höhe der Allerheiligenflut von 1570 für Dangast ausreichend genau ermitteln konnte, „wie Vergleiche mit Wasserstands- und Geländehöhen-Hinweisen aus dem alten Schrifttum und aus historischen Karten ergeben haben". Es können nach den vorstehenden Ausführungen die folgenden historischen Sturmflutwasserstände für die Wulfsgast bei Dangast als wahrscheinlich angenommen werden:

1. 11. 1570	NN	(+ 441 cm)
25. 12. 1717	NN	+ 490 cm
31. 12. 1720	NN	+ 398 cm
24. 11. 1736	NN	+ 422 cm
18. 2. 1742	NN	+ 448 cm
3./4. 2. 1825	NN	+ 521 cm
1. 1. 1855	NN	+ 501 cm
13. 3. 1906	NN	+ 527 cm

Der Wert für 1570 ist eingeklammert, weil er nicht durch direkte Beobachtung, sondern auf andere Weise ermittelt wurde. 1924 wurde vor der Wulfsgast ein neuer Seedeich errichtet. Der Geesthügel lag seitdem weit im Hinterland, und die dort befindlichen Steine hatten keine unmittelbare Beziehung mehr zu den Tidewasserständen. Etwa 1935 sind die Steine von ihrem ursprünglichen Standort entfernt und beim Dangaster Badestrand abgestellt worden (55). 1957 wurde vor dem Deich von 1924 ein neuer errichtet, der die

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Deichlinie begradigt. In diesem Zusammenhang wurde auch das neue Siel und Schöpfwerk gebaut. Nach 1962 wurde der neue Deich noch verstärkt und aufgehöht. Der Pegel vor dem Siel (Abb. 4) besteht seit dem 1. 9. 1960 und ist seit dem 1. 12. 1961 Schreibpegel. Die regelmäßigen Beobachtungen begannen am 1. 11.1963. 1972 hat man alle Dangaster Flutsteine neben dem Siel und Schöpfwerk am Deich neu aufgestellt und auf die Höhe gebracht, die sie ursprünglich gehabt haben. Dabei hat man die von LÜDERS angegebenen Werte (55) für die Wulfsgast zugrunde gelegt. Die alten Steine haben keine Höhenmarken, sondern tragen lediglich Datum und Jahreszahl. Es wurde angenommen, daß sie seinerzeit mit ihrem Fuß

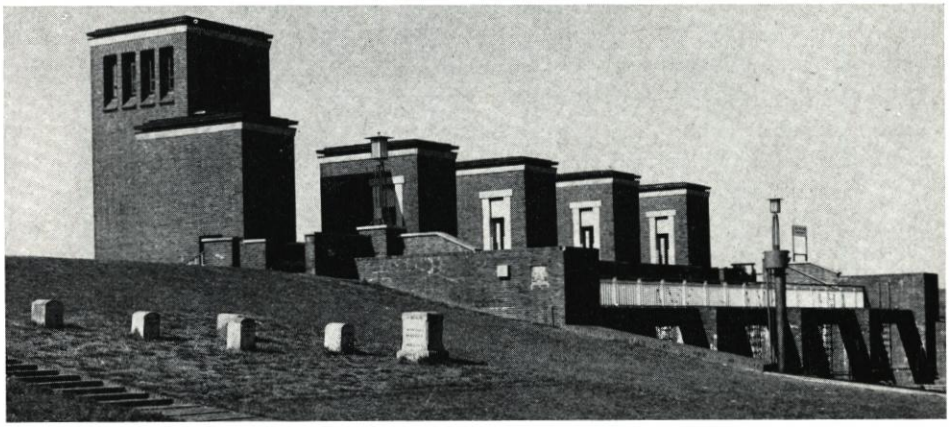


Abb. 4. Sielbauwerk Dangast und die Flutsteine

auf die jeweilige Höhe des festgestellten Sturmflutwasserstandes (Treibzeugkante) gestellt worden sind. Es wurde daher der Schnittpunkt der Vorderseite der Steine mit der Deichböschung auf die genannte Höhe gelegt. Aus Gründen der Deichsicherheit ist der Standort der Steine mit Klinkern in Rollschicht gepflastert worden, die Steine stehen auf 80 cm tiefen Betonfundamenten.[5])

In (118) werden für den 1854 eingerichteten Pegel Wilhelmshaven die Sturmfluthöhen von 1717 mit NN + 481 cm und von 1825 mit NN + 503 cm angegeben. Diese Werte sind durch Beschickung der Höhenangaben der Dangaster Flutsteine auf Wilhelmshaven ermittelt worden. Die echten Beobachtungswerte von Wilhelmshaven sind 1855 NN + 492 cm und 1906 NN + 506 cm.

2.4 Hamburg

In (2) findet sich eine Zusammenstellung von hohen Fluten in Hamburg, die vom 5. 1. 1661 bis 3./4. 2. 1825 reicht. Die Höhen sind in Fuß und Zoll angegeben. Von 1717 an sind die Werte mit denen identisch, die von WOLTMANN, (107) und (108), genannt werden. Interessant ist, daß in (2) für 11 hohe Fluten vor 1717 auch genaue Höhen genannt sind.

---

[5]) Die Angaben über die Aufstellung der Flutsteine am Dangaster Siel und über den Pegel Dangast verdanke ich Herrn Baudirektor von SEGGERN vom Wasserwirtschaftsamt Wilhelmshaven (Schreiben vom 13. 4. 1976).

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Wie in (86) mitgeteilt wird, muß schon am Ende des 17. Jahrhunderts in Hamburg ein Pegel bestanden haben, an dem mindestens zeitweise die Thw beobachtet wurden. Dieser Schluß ergab sich aus der Tatsache, daß in englischen Gezeitentafeln aus dem Jahre 1682 (20), die die für London-Bridge vorausberechneten täglichen Eintrittszeiten des Thw enthalten, sich der Hinweis befindet, daß das Thw in Hamburg jeweils 3 Stunden 30 Minuten später eintritt. REINCKE (70) teilt mit, daß sich vor dem alten Waisenhaus schon im 17. Jahrhundert ein städtischer Flutmeßapparat befunden haben soll. Die Höhenangaben für die 11 Fluten von 1661 bis 1715 sind dem Buch von OUTHOF (67) entnommen, der als Pastor in Emden die Flutkatastrophe von 1717 miterlebte. In seinem Buch stellt er alle ihm irgendwie verfügbaren Berichte über frühere Sturmfluten zusammen. Dieses Werk ist auch eine wesentliche Grundlage für die Untersuchungen über Sturmfluthäufigkeit und jahreszeitliche Verteilung in (18) und (30). In dem Bericht über die Sturmflut 1717 in Hamburg teilt OUTHOF eine Liste der in (2) aufgeführten 11 Fluten mit und gibt dabei an, wie viele Fuß und Daumen (= Zoll) der Sturmflutscheitel 1717 höher gewesen ist. In den vorhergehenden kurzen Berichten über die einzelnen Fluten wird dieser jeweilige Höhenunterschied ebenfalls erwähnt. Die Werte sind die einzigen konkreten Höhenangaben, die sich in dem gesamten Buch von OUTHOF finden. Das läßt den Schluß zu, daß nur in Hamburg solche Werte gewonnen werden konnten, weil nur dort ein „Flutmeßapparat" (Pegel) vorhanden war. Auch in (39), der sich im wesentlichen auf (67) bezieht, werden für Hamburg dieselben Wasserstandsunterschiede gegenüber dem Sturmflutscheitel von 1717 genannt. Nähere Angaben konnten bisher über diesen vermutlich ältesten Pegel in Deutschland nicht gefunden werden. In Abb. 5 ist der mutmaßliche Ort dieses Pegels mit I eingezeichnet. Hier stand das um 1600 erbaute alte Waisenhaus (25). Nach im Hamburger Staatsarchiv vorhandenen alten Stichen führte eine Treppe von dem Waisenhaus zum Wasser. Neben dieser Treppe könnte eine Meßlatte angebracht gewesen sein, der Flutmesser. Sie ist allerdings auf den Bildern nicht zu erkennen. Die Angabe in (70), daß schon im 17. Jahrhundert ein Flutmesser vorhanden war, paßt gut mit der aus den englischen Gezeitentafeln zusammen. Die konkreten Wasserstandsangaben von Sturmfluten für die Zeit von 1661 bis 1715 in (67) sind ein weiteres Indiz dafür, daß dieser Pegel bestanden hat. Die Beobachtungen könnten an dem Pegel am Waisenhaus gemacht worden sein.

Für die 11 Sturmfluten vor 1717 sind die in (67) angegebenen Unterschiede zum Sturmflutscheitel von 1717 benutzt worden, um die Scheitelhöhen zu ermitteln. Dabei wurde als Scheitelwert für 1717 20′ 0″ angenommen, ein Wert, der erstmals 1792 in den Hamburgischen Addreß-Comtoir-Nachrichten veröffentlicht ist, (84) und (86). Die so ermittelten Werte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Mit Ausnahme der Fluten von 1688 und 1693 sind alle 11 Fluten auch in der Sturmflutzusammenstellung in (75) erwähnt. Da die meisten dieser Fluten ziemlich unbekannt sind, nur die vom 25. 11. 1685 ist in (105) genannt, soll nachfolgend wiedergegeben werden, was in dem Sturmflutverzeichnis des Tönninger Organisten, (74) und (75), über diese Fluten geschrieben wird:

> „. . . 1661 d. 5. Jan. 1662 zwischen dem 19. und 20. Febr. und 1663 zwischen dem 19. und 20. Oct.[6]) sehr hohe Fluthen gewesen in welcher letzteren das Wasser in Hamburg höher als in den Jahren 1625 und 1634 war. . . .

---

[6]) Bei dem in (2) angegebenen Datum 10. Sept. liegt wahrscheinlich ein Schreibfehler vor. Nach (75) wird das Datum 19./20. 10. auch von HEIMREICH und SALCHOW erwähnt. Über einige der hier und weiter unten genannten Sturmfluten finden sich einige Angaben auch in FINDER, E.: „Die Landschaft Billwärder, ihre Geschichte und ihre Kultur" und in (121). Die Sturmflut von 1661 ist auch in (114) erwähnt.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Im Jahr 1697 den 23. Juni[7]) wurden durch eine hohe Fluth die Deiche in den Marschländern sehr beschädigt wie auch 1699 (74).

In den Jahren 1701, 1702 wie 1703 entstanden Fluthen die an Höhe der von 1634 gleichkamen, besonders die von 1703 . . . . . wie auch 1715 den 4. März waren hohe Fluthen (74)."

Da in der Mitteilung über die Fluten von 1661 und 1663 auf die Flut von 1625 hingewiesen wird und in dem Bericht von 1625 interessante Angaben gerade über Hamburg gemacht werden, soll auch dieser Bericht hier wiedergegeben werden. Der Bericht über die Sturmflut von 1634 enthält nichts über Hamburg, sondern nur über die Westküste. Über diese Sturmflut gibt es aber genügend andere und genauere Berichte.

„1625. Den 26. Februar entstand eine hohe Eisfluth, die mehr als Ellen hoch über den Hafdeich strömte. Ganz Nordstrand und Pellworm ging unter Wasser wobei 16 und auf Hooge 10 Menschen. Auch ganz Eiderstedt bis auf 2 oder 3 Köge wurden vom salzen Wasser überschwemmt und zu Westerhever ertranken 13 Menschen, 16 Häuser wurden eingeschlagen, in Wewelsfleth kamen 20 Menschen um. In Dithmarschen und Brunsbüttel, Marne, Edelak und Büsum richtete die Fluth großen Schaden an. In Hamburg soll daß Wasser auf dem Hopfenmarkt[8]) gestanden haben, so daß man bequem mit Böten fahren. Auch hat man einen Prediger der in der St. Cathrinenkirche Beichte hielt mit einem Bote abgeholt. Diese schöne Kirche wurde übel zugerichtet und überall geschah großer Schaden. Ein Kaufmann z. B. verlor an seinen Waren 40.000 (M ?) und noch anderer Schade in den Marsch und Warderländern an der Elbe zu geschweigen."

Nach (114) waren 1625 drei schwere Sturmfluten, am 21. Januar, 26. Februar und vom 20. bis 22. März. Die größten Schäden entstanden in Hamburg am 26. Februar. Ausdrücklich werden die hohen Verluste erwähnt, die die Kaufleute dadurch hatten. In (114) werden auch noch für den 30. September 1663 und für 1671 Sturmfluten genannt.

Die älteste Höhenangabe über die Sturmflut von 1717 befindet sich zusammen mit den Angaben für 1751, 1756, 1791 und 1792 in den Hamburgischen Addreß-Comtoir-Nachrichten vom Dezember 1792, (84) und (86). Sie stimmen überein mit denen von WOLTMANN in (107) und (108), die in (2) wiedergegeben werden, wobei allerdings außer der in den Addreß-Comtoir-Nachrichten genannten Höhe von 20′ 0″ noch die um 3″ (7,2 cm) niedrigere Höhe 19′ 9″ für 1717 angegeben ist. Es wird nirgends gesagt, aus welchem Grunde zwei Höhen genannt werden. Um eine hohe Vortide kann es sich nicht handeln, wie aus allen Berichten über die Sturmflut von 1717 hervorgeht (48). Wahrscheinlich haben sich die unterschiedlichen Höhen aus verschiedenen Sturmflutmarken ergeben. Es soll hier der höchste Wert (20′ 0″) weiterverwendet werden. Er ist in Tabelle 1 aufgenommen, und auf ihn sind die Höhen der früheren Sturmfluten bezogen worden, während in (2) diese Höhen nach dem niedrigeren Wert (19′ 9″) ermittelt sind. WOLTMANN schreibt in (107) über die ersten sechs in seinem Verzeichnis enthaltenen Fluten von 1717, 1736, 1751, 1756, 1775 und 1777:

„Die zuerst angeführten sechs Sturmfluthen sind nach Merkmalen an Treppen, Häusern etc. beobachtet und von dem verdienstvollen Herrn Inspector Reinke, meinem vormaligen Collegen und Freunde auf die Fluthmesser, welche 1785 oder 86 in Hamburg zunächst eingerichtet worden, reducirt worden."

Entsprechende Bemerkungen finden sich auch in (2) und (108). Für die Sturmflut von 1756 schreibt REINKE allerdings in (71):

---

[7]) Das Datum 23. Juni für eine Sturmflut ist recht unwahrscheinlich, das in (2) angegebene, 22. Sept., dürfte eher zutreffend sein.

[8]) Der Hopfenmarkt ist auf Abb. 5 mit H gekennzeichnet, er befindet sich neben der Nicolaikirche.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

„Eine außerordentliche Sturmfluth war am 8ten Oktober 1756, welche unsers Wissens die höchste ist, die durch Beobachtung aufbewahrt worden. Sie ist nämlich in der alten Kunst am Graskeller bemerkt, und durch nivelliren auf unserm neuen Fluthmesser reducirt wo sie auf 18 Fuß 6 Zoll trift."



Abb. 5. Lageplan der ehemaligen Sturmflutmarken in Hamburg

Es ist nicht bekannt, nach welchen Marken REINKE die Höhen der in den Addreß-Comtoir-Nachrichten 1792 (84) genannten Sturmfluten vor 1786 und der weiteren in (2) und (107) genannten drei Sturmfluten auf den Pegel von 1786 bezogen hat. Auch HÜBBE ist dieser Frage in (35) nachgegangen. Damals konnte er noch eine Höhenmarke für 1743

(ohne Datum), zwei für den 11. 9. 1751 und drei für den 8. 10. 1756 feststellen und einmessen, darüber hinaus noch sechs für den 22. 3. 1791, drei für den 11. 12. 1792, je eine für den 3. 1. 1801, 27. 2. 1806, 26. 12. 1806, 15. 11. 1824, 27. 11. 1825 und neun für den 4. 2. 1825. Er stellt sie den Angaben von WOLTMANN gegenüber, mit Ausnahme der von 1743, 3. 11. 1801 und 26. 12. 1806, die nicht in den Verzeichnissen, (107) und (108), enthalten sind. Es ist möglich, daß es sich bei der von HÜBBE erwähnten Marke von 1743 um die von der auch von WOLTMANN erwähnten Sturmflut vom 15. 11. 1745 handelt. Die Höhenangaben stimmen bis auf 1 Zoll überein.

Zwischen den Höhen der Sturmflutmarken und den Angaben von WOLTMANN stellt HÜBBE unterschiedlich große Differenzen fest. Die von WOLTMANN für die Fluten von 1791 bis 1806 angegebenen Werte (35) stimmen übrigens mit den in den wöchentlichen Tabellen in den Addreß-Comtoir-Nachrichten veröffentlichten fast vollkommen überein. Nur für den 3. 3. 1793 besteht eine Differenz: WOLTMANN (108) gibt 18′ 6″ an, in der von HÜBBE (35) erwähnten Liste von REINKE betrug die Höhe nur 18′ 0″. Dieser Wert stimmt mit dem Beobachtungsbericht in den Addreß-Comtoir-Nachrichten überein, in dem es heißt, daß das höchste Wasser „ . . . an unserem Fluthmesser bis auf 18′ hoch stieg" (84), und in der zugehörigen Tabelle sind auch 18′ 0″ angegeben. Wahrscheinlich liegt in (108) ein Schreibfehler vor. Auffallend ist, daß bei den Sturmfluten vor 1793 die Differenzen zwischen den Scheitelhöhen, wie sie die von HÜBBE eingemessenen Marken ergeben, und den Angaben von WOLTMANN etwa 1 Fuß betragen.[9]) Dagegen stimmen die Höhenangaben für die Sturmfluten ab 1793 bis auf wenige Zoll überein. HÜBBE (35) schließt daraus, daß um 1793 der Nullpunkt des Pegels um etwa 1 Fuß verlegt worden ist. Nachdem ihm aber die Pegelaufzeichnungen zur Einsicht zur Verfügung gestanden haben, sieht er von dieser ersten Annahme ab (36). Auch bei Durchsicht der in den Addreß-Comtoir-Nachrichten veröffentlichten Wasserstandslisten wurde kein Hinweis auf eine Verlegung des Nullpunktes gefunden (86). HÜBBE (36) kommt dann hinsichtlich der Höhenangaben von REINKE zu folgendem Schluß:

> „Für den früher erörterten Unterschied, welcher zwischen der Reinke'schen Bestimmung der vier großen Sturmfluthen vor 1793 und den von mir aufgefundenen Höhenzeichen dieser nemlichen Fluthen Statt findet giebt es nun keine andere wahrscheinliche Erklärung mehr, als diejenige, daß dieselben in Reinke's Register nicht richtig eingetragen worden sind, wozu die oben beschriebenen örtlichen Schwierigkeiten viel beigetragen haben mögen."

Um die Wasserstandsangaben für die Sturmfluten in Bezug zu den Werten am Pegel Niederbaum zu beurteilen, ist es notwendig, die Beobachtungsorte zu kennen. Sie sind in Abb. 5, einer Karte des Lieutenants LAWRENCE von 1791, mit folgenden Ziffern eingetragen:

0 Alte Kunst am Graskeller. Marke für die Sturmflut 1756 (71).

1 Ein hölzerner Ständer im Innern des Speichers Große Reichenstraße 41. Die Lage des Hauses konnte nach einem Straßenplan im Hamburger Staatsarchiv festgestellt werden, es lag etwa in der Mitte zwischen Rolandsbrücke und Brandstwiete. Marken für die Fluten 1751, 1756, 1791, 1792.

2 Zwei hölzerne Türen auf Baasch Platz am Kehrwieder. Kehrwieder ist eine Straße auf der Südseite des Binnenhafens. Nach dem Adreßbuch von 1840 befand sich der „Thee-, Kaffee- und Gewürzhandel" von C. H. Baasch im Hause Kehrwieder 38, dessen Lage nach einem Straßenplan festgestellt werden konnte. Marken für die Fluten

---

[9]) Eine Ausnahme wäre nur die Flut vom 15. 11. 1745, wenn sie mit der von HÜBBE für 1743 genannten identisch ist. HÜBBE gibt für die Marke von 1743 17′ 4″ an, während die Flut vom 15. 11. 1745 17′ 5″ erreichte.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

1743 (1745 ?), 1751, 1756, 1791, 1792, 1793, 1801, 1806 (Februar und Dezember), 1825 (Februar und November).

3 Futtermauer und Sockel an der Ratswaage beim Neuen Kran. Marken für 1756, 1791, 1825, eine ohne Jahreszahl.

4 Ein hölzerner Wandständer im Hofe des Kornhauses. Marken für 1791, 1792, 1824, 1825.

5 Ein eingemauerter Sandstein an der südwestlichen äußeren Ecke des Bauhofes. Marke von 1791.

6 Ein Sandsteinsockel im Hofe des Bauhofes. Marke von 1791.

7 Auf dem Baakendamm im Wachthaus. Marke von 1825.

8 An einem hölzernen Stakett auf dem Teerhofe. Marke von 1825.

9 An einem Speicher auf dem Steinhöft. 2 Marken von 1825.

10 Auf Richters Werft am Kehrwieder. Marke von 1825.

11 An der inneren Wand des Blockhauses. Marke von 1825.

Keine der genannten Sturmflutmarken ist heute noch vorhanden. Um die Höhen der Sturmflutmarken und die Wasserstände am Flutmesser miteinander vergleichen zu können, muß die Lage des Flutmessers genau bekannt sein. Der Flutmesser befand sich „an den Pfählen beim Niederbaum“ (71), der Einfahrt von der Elbe zum Binnenhafen (II in Abb. 5). Hier waren von beiden Ufern ziemlich enge Pfahlreihen durch den Hafen geschlagen, zwischen denen sich der „Niederbaum“ befand, mit dem die enge Durchfahrt durch die Pfahlreihen, die eigentliche Hafeneinfahrt, gesperrt werden konnte. Von der Bastion Georgius führte eine Holzbrücke zu dem am Ende der Pfahlreihe zur Verteidigung des Niederbaums schon 1655 gebauten Blockhause (25). Nach (26) und einem dort wiedergegebenen Hafenplan hat sich der 1786 in Betrieb genommene Flutmesser (86) an diesem Blockhaus befunden. Im Blockhaus waren auch die Zoll- und Akziseeinnehmer untergebracht und zum Schutz der Hafeneinfahrt auch eine militärische Wache. So ist es verständlich, daß der nach (86) wohl erste Pegelbeobachter ein Corporal Otte war. Das Blockhaus war Tag und Nacht besetzt und daher für die Beobachtung eines Lattenpegels ein idealer Ort! Der Pegel befand sich in unmittelbarer Nähe der freien Elbe. Nach alten Stichen vom Blockhaus führte eine Treppe ans Wasser, an der wohl die Boote von den Schiffen oder die der Zolleinnehmer anlegten. Neben dieser Treppe könnte sich die Pegellatte befunden haben, sie ist auf alten Bildern leider nicht zu erkennen. 1852 wurde das Blockhaus abgerissen.

Wenn das Blockhaus ständig, also auch bei Sturmfluten, besetzt war, so ist Hübbes Vermutung unzutreffend, daß die Höhe einer hohen Sturmflut am Pegel nicht genau zu bestimmen war, weil man nicht zum Blockhaus gelangen konnte (36). Das Blockhaus war ein recht stabiles Bauwerk, das durchaus bei einer Sturmflut besetzt bleiben konnte. Demnach verdienen die veröffentlichten Pegelablesungen, auch die bei Sturmfluten, erhebliches Vertrauen. Die Ablesungen liegen aber erst ab 1786 vor; nur die Sturmfluten, die Hübbe ab 1791 angibt, können unmittelbar am Blockhaus beobachtet worden sein. Wie alle Bilder vom Niederbaum und dem Blockhaus zeigen, bestand das Pfahlwerk, mit dem der Hafen abgesperrt war, aus recht dichten Palisadenwänden. Die Hafeneinfahrt, die vom Blockhaus bewacht wurde, war schmal (Abb. 5). Es ist durchaus verständlich, daß bei Sturmfluten ein gewisser Wasserstandsunterschied zwischen der Elbe und Punkten, die weiter im Binnenhafen und an den Fleeten lagen, vorhanden gewesen ist. Diese Verhältnisse waren Reinke sicherlich bekannt, und er hat dann beim Bezug der Höhenangaben früherer Sturmfluten auf den Flutmesser derartige Differenzen berücksichtigt. 1787, als er noch keine ausreichenden Erfahrungen mit dem Flutmesser hatte, gab er die Sturmfluthöhe von 1756 mit 18′ 6″ an und hat diese Höhe später berichtigt, denn die Angaben in den Addreß-Comtoir-Nachrichten von 1792 und die in (107) und (108)

über die Höhen früherer Sturmfluten gehen auf ihn zurück. Nach diesen Vorbemerkungen können nun die einzelnen Höhenmarken beurteilt werden:

0 Die Marke befand sich am Ende des engen Alsterfleetes, das vom Binnenhafen etwa nach Nordosten führt und das durch zwei enge Brücken überspannt wird. Die Differenz zum Flutmesser ergibt nach REINKES Angaben 20′ 5″ (84) – 18′ 6″ (71) = 1′ 11″ (55 cm). Der Höhenunterschied ist verständlich, er ist etwas größer als der zwischen den Marken unmittelbar am Binnenhafenbecken und dem Flutmesser (Punkte 2 und 3).

1 Vom Binnenhafen zweigt das breite Nicolaifleet ab, die frühere Alster. Das davon abgehende enge Fleet an der Großen Reichenstraße war der älteste Hafenteil Hamburgs (90). Die Höhenunterschiede zwischen den dortigen Flutmarken und dem Wasserstand am Pegel betragen 1751 1′ 2½″ (34,7 cm), 1756 1′ 4¼″ (38,9 cm), 1791 10″ (24 cm), 1792 11½′ (27,5 cm). Daß der Unterschied etwas geringer war als beim Punkt 0, kann daran liegen, daß das Nicolaifleet ein breiterer Wasserlauf war als das Alsterfleet, das auch anders zur Windrichtung verläuft, und daß am Speicher in der Großen Reichenstraße der Wasserstand erst etwas später nach der aufgestiegenen Feuchtigkeit abgelesen wurde, während bei der Kunst am Graskeller von den dortigen technischen Bediensteten der höchste Wasserstand sofort markiert werden konnte.

2 Auf der Südseite des Binnenhafens. Die Unterschiede betragen 1751 1′ 4″ (38,3 cm), 1756 1′ 3″ (35,9 cm), 1791 10½″ (25,1 cm), 1792 1′ (28,7 cm). Für 1743 ist am Flutmesser kein Wert bekannt. Wenn es sich statt dessen um den Wert von 1745 handelt, beträgt der Unterschied 1″ (2,4 cm). Warum dieser Unterschied so gering ist, ist nicht zu erklären. 1793 ist der Unterschied – 1″. Es ist möglich, daß die Pfahlpalisaden bei den zahlreichen Sturmfluten im Dezember 1792 (84) so beschädigt worden waren und nicht bis zum März 1793 ausgebessert werden konnten, daß die Sturmtiden weitgehend ungehindert in den Binnenhafen einlaufen konnten. Daß bei den anderen Fluten (1801, 1806, 1824 und 1825) die Unterschiede auch wieder nur – 1″ bis + 2½″ (– 2,4 bis + 6 cm) betrugen, mag ebenfalls daran liegen, daß später keine dichte Pfahlwand, sondern nur noch eine Dalbenreihe vorhanden war.

3 Der Kran lag auf der Nordseite des Binnenhafens. Die Unterschiede betrugen 1756 1′ (28,7 cm), 1791 9½″ (22,7 cm) und 1825 2″ (4,8 cm).

4 Das Kornhaus lag an einem engen, in Westostrichtung verlaufenden Fleet. Die Unterschiede betrugen 1791 und 1792 11″ (26,2 cm), 1824 und 1825 2½″ (6 cm).

5 u. 6 Der Bauhof lag am Oberhafen. Die Unterschiede betrugen 1791 8½″ (20,3 cm) und 9¼″ (22,1 cm).

7 bis 11 Die Unterschiede zwischen den 1825 an den verschiedenen Punkten gemessenen Wasserständen und der Pegelablesung von 20′ 4″ nach (107) und (108) liegen zwischen ± 1½″ (3,6 cm).

Nach dieser Übersicht sind drei Gruppen von Wasserstandsunterschieden zwischen den Marken und dem Pegel vorhanden:

a) bei den Sturmfluten von 1751 und 1756 zwischen 36 und 39 cm (bzw. 55 cm),
b) bei den Sturmfluten von 1791 und 1792 zwischen 23 und 29 cm,
c) bei den Sturmfluten ab 1793 zwischen — 3,6 und + 6 cm.

Die Differenzen innerhalb jeder einzelnen Gruppe sind gering, sie können auf unterschiedliche Lage der Beobachtungsorte zurückgeführt werden. Die Differenz zwischen den beiden Gruppen b und c kann in baulichen Änderungen der Hafeneinfahrt (dichte Palisadenwand, Dalbenreihe) begründet sein. Unerklärlich ist die mittlere Differenz von rund 10 cm zwischen den Gruppen a und b. Entweder haben REINKE bei der Bestimmung der Höhen von 1751 und 1756 noch andere Höhenmarken zur Verfügung gestanden – was wahrscheinlich ist, da HÜBBE 1844 auch keine Marken für die von REINKE (108) angegebenen Fluten von 1717, 1736 und 1777 bekannt waren –, oder die Wasserstände sind um rund 10 cm zu hoch angegeben. Auch hierfür spricht einiges. Die Werte für die Fluten

Die Küste, 30 (1977), 52-143

zwischen 1717 und 1786 könnten ebenso wie die Sturmfluten vor 1717 als Differenzen zum Scheitel von 1717 überliefert worden sein. Wenn man für die Höhe von 1717 den von WOLTMANN, (107) und (108), ebenfalls genannten Wert von 19′ 9″ zugrunde legt, würden alle Sturmfluten vor 1786 einen um 3″ (7,2 cm) niedrigeren Scheitelwert gehabt haben, und die Differenzen, die sich zwischen den am Pegel angegebenen Werten und denen, die sich nach dem Einmessen der Höhenmarken durch HÜBBE ergeben, würden den Differenzen bei den Fluten von 1791 und 1792 entsprechen. Dieser Fehler von etwa 10 cm ist jedenfalls sehr viel kleiner als der von HÜBBE angegebene Unterschied von etwa 1 Fuß (28,66 cm). Eine vollständige Aufklärung ist heute nicht mehr möglich. In Tabelle 1 sind die von REINKE, (107) und (108), angegebenen Höhen der Sturmfluten von 1717 bis 1786 aufgenommen und auf NN cm umgerechnet worden. Nach den vorstehenden Überlegungen ist es möglich, daß alle diese Höhenangaben um etwa 7 cm (3″) bzw. rund 10 cm zu hoch sind.

Zu erwähnen ist noch der Hinweis in (25), daß 1791 an sieben verschiedenen Stellen im Hafen und in der Stadt Flutmesser angebracht wurden. Nach (64 a) bestanden sogar 18 Flutmesser. Dabei handelte es sich aber nicht um regelmäßig beobachtete Pegel. Es waren Meßlatten, die bei stürmischem Wetter, wenn eine hohe Flut zu erwarten war, von besonderen Posten und den Nachtwächtern abgelesen werden mußten. Wenn der Wasserstand an diesen Flutmessern eine bestimmte Höhe erreicht hatte, mußten die Wachen die Bevölkerung warnen. Es heißt in (25) weiter, daß 1786 ein Flutmesser zum regelmäßigen Beobachten der Wasserstände eingerichtet worden sei, dessen provisorische Skala 1788 durch eine definitive ersetzt wurde. Der Unterschied zwischen den Nullpunkten soll 4′ 7″ (1,31 m) betragen haben. Tatsächlich betrug der Unterschied jedoch 6′ 8″ (1,91 m) oder 6′ 6″ (86).

Für die Zeit von 1786 bis 1811 konnten die in jedem Jahr vorgekommenen HThw aus den in den Addreß-Comtoir-Nachrichten veröffentlichten Wasserstandslisten entnommen werden. Soweit für Cuxhaven Tiden anderer Tage bekannt waren (vgl. Abschnitt 2.5), wurden auch die entsprechenden Werte für Hamburg angegeben. Für 1818 bis 1834 wurden alle in (107) und (108) veröffentlichten Werte und für 1834 bis 1840 die höchsten der in (64 a) angegebenen in Tabelle 1 übernommen. Der Sturmflutscheitel vom 3./4. Februar 1825 wird für Hamburg verschieden hoch angegeben. Nach (108) betrug er 20′ 4″ a. P. = NN + 516 cm (PN = NN — 0,672 m), nach REINKE (35) 20′ 6″ = 520 cm. Die in (35) aufgeführten Sturmflutmarken liegen zwischen 20′ 1½″ (NN + 510 cm) und 20′ 5½″ (NN + 519 cm). NEHLS (65) gibt den Scheitelwert mit 8,74 cm a. P. = NN + 520 cm (PN = NN — 3,538 m) an. Nach einer Tabelle in (94), deren Werte auf LENTZ zurückgehen, lag der Scheitel auf NN + 524 cm. Als wahrscheinlichster Wert soll im folgenden NN + 520 cm weiterverwendet werden, er wurde in Tabelle 1 aufgenommen. Es ist der von REINKE (35) angegebene Wert.[10]) Die Sturmflutmarke, die im Blockhaus ½″ niedriger lag (35) als der außen für die Pegellatte angegebene Wasserstand, erhärtet diesen Wert auch. Ab 1. 1. 1841 ist der Pegel St. Pauli in Betrieb, seitdem sind die Listen der Beobachtungswerte vorhanden. Ab 1843 wurden auch alle Thw bei Nacht erfaßt, (86) und (95). Damit sind von dieser Zeit an auch alle Sturmflutscheitelhöhen bekannt.

Für andere Orte an der Unterelbe sind lediglich für die Sturmflut von 1825 die Scheitelhöhen bekannt. In (2) und (61) sind sie außer für Cuxhaven und Hamburg noch für Brunsbüttel, Glückstadt, Stade und Harburg angegeben. Danach hat wohl auch in Harburg zu der Zeit bereits ein Pegel bestanden. In (86) wird vermutet, daß wahrscheinlich schon

---

[10]) Auch in den Schleswig-Holsteinischen Provinzialberichten für 1825, 1. Heft/XI, S. 149, wird die Höhe mit 20′ 6″ (520 cm) angegeben.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Tabelle 1

Sturmflut-Scheitelhöhen und jährliche HThw 1661 bis 1840 für Cuxhaven und Hamburg

Datum	*Cuxhaven* 1787 u. Januar 1788 PN = NN −2,27 m ab Februar 1788 PN = NN −1,746 m über PN Fuß	Zoll	cm über NN	*Hamburg* 1661 bis 1777, ab 1788 PN = NN −0,672 m 1786 und 1787 PN = NN −2,58 m über PN Fuß	Zoll	cm über NN	Differenz Hbg.–Cux. cm
1	2	3	4	5	6	7	8
1661 5. 1.				18	7	465	
1663 10. 9.				19	1,5	481	
1685 25. 11.				18	10	472	
1688 8. 10.				17	10	444	
1693 31. 12.				18	—	449	
1697 22. 9.				19	6 3/4	493	
1699 10. 11.				17	6	434	
1701 17. 10.				17	5 1/2	433	
1702 28. 2.				17	10	444	
1703 8. 12.				18	8	468	
1715 4. 3.				19	0	477	
1717 25. 12.			(425)	20	0	506	81
1736 24. 11.				19	3	484	
1745 15. 11.				17	5	432	
1751 11. 9.				20	2	511	
1756 8. 10.				20	5	518	
1777 31. 8.				18	2	453	
1786 28. 7.				19	11	313	
1787 2. 3.	16,45		244	19	4	296	52
1788 25. 1.	19,70		338	17	7	437	99
1789 5. 2.				13	2	310	
1789 16. 2.	16,10		287	11	8	267	— 20
1790 27./28. 2.	15,45		268	13	4	315	47
1790 27. 11.	17,70		333	14	10	358	25
1791 22. 3.	20,75		420	20	2 1/2	512	92
1792 4. 2.	15,30		264	14	4	344	80
1792 7. 12.	18	4	351	17	—	420	69
1792 10. 12.	20,3		407	20	6	520	113
1793 3. 3.	17,35		323	18	0	449	126
1794 24. 1.	16,30		293	13	5 1/2	319	26
1794 13. 11.	17,25		320	14	5	346	26
1795 30./31. 10.	16,10		287	12	6	291	4
1796 3. 1.				14	7	351	
1796 26. 3.	15,55		271	13	3	313	42
1797 10. 9.				15	9	384	
1797 7. 12.				16	0	391	
1798 25. 1.				12	9	298	
1799 22. 5.				11	10	272	
1800 22. 10.				12	11	303	
1800 10. 11.				14	3	341	
1801 3. 11.				16	0	391	
1802 6. 12.				12	3	284	
1803 20. 4.				13	8	324	
1804 21. 9.				15	0	363	
1805 31. 5.				11	6	262	
1806 27. 2.	20	5	411	18	6	463	52
1806 26. 12.	19	1/4	371	17	9	442	71
1807 3. 12.				12	3	284	
1808 7. 12.				15	1/4	363	
1809 21. 2.				16	0	391	

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Datum		*Cuxhaven* 1787 u. Januar 1788 PN = NN −2,27 m ab Februar 1788 PN = NN −1,746 m über PN Fuß	Zoll	cm über NN	*Hamburg* 1661 bis 1777, ab 1788 PN = NN −0,672 m 1786 und 1787 PN = NN −2,58 m über PN Fuß	Zoll	cm über NN	Differenz Hbg.–Cux. cm
1		2	3	4	5	6	7	8
1810	22. 3.				12	0	277	
1811	14. 10.				13	0	305	
1813	27. 2.	16	8	303				
1814	18. 11.	17	5	325				
1815	5. 9.	15	0	255				
1816	17. 2.	15	4	265				
1817	4. 3.	16	6	298				
1818	16. 1.	17	4	322	16	8	410	88
1819	17. 3.	17	7	329	16	5	403	74
1820	2. 3.	14	8	246				
1821	1. 12.	18	2	346	16	4	401	55
1822	11. u. 12. 3.	17	4	322	16	2	396	74
1823	4. 3.	17	2	317	16	2	396	79
1823	5. 12.	17	9	334	17	1	422	88
1824	3. 11.	18	4	351	17	6	434	83
1824	13. 11.	16	1	286	13	6	320	34
1824	14. 11.	15	2	260	14	9	356	96
1824	15. 11.	19	8	390	19	2	482	92
1824	26. u. 27. 12.	18	3	348	17	2	425	77
1825	2. u. 3. 1.	16	0	284	14	6	348	64
1825	3./4. 2.	ca. 22¼	–	464	20	6	520	56
1825	27. 11.	20	4	408	18	10	473	65
1825	28. 11.	14	6	241	13	2	310	69
1826	29. 10.	14	3	234				
1827	9. 1.	17	0	313				
1828	20. 3.	15	1	258				
1829	5. 6.	15	2	260				
1830	5. 10.	15	1	258				
1831	12. 11.	16	6	298				
1832	18. 7.	14	5	239				
1833	2. 11.	20	2	403	17	10	444	41
1833	3. 11.	15	4	265	14	0	334	69
1833	23. 11.	15	7	272	13	0	305	33
1833	8. 12.	15	2	260	12	9	298	38
1833	10. 12.	17	6	327	14	6	348	21
1833	30. 12.	14	4	236	12	5	289	53
1834	1. 1.	15	3	262	14	0	334	72
1834	24. 1.	15	10	279	14	6	348	69
1834	25. 1.	15	7	272	14	8	353	81
1834	26. 1.	14	7	243	13	0	305	62
1834	29. 1.	15	6	270	13	3	313	43
1834	18. 10.	20	0	399	17	7	437	38
1835	18. 11.	21	0	427	18	4	459	32
1836	28. 10.	16	2	289				
1837	2. 11.	16	3	291				
1838	18. 10.	15	6	270				
1839	8. 1.	20	1	401	18	0	449	48
1840	22. 1.	19	9	391	18	6	463	72

vor 1800 in Stade ein Pegel bestanden hat. Wie aus (61) hervorgeht, ist der Pegel Stade bestimmt schon 1825 vorhanden gewesen, denn es wird mitgeteilt, daß das Wasser am 3./4. 2. 1825 „21′ 9″ hoch am Provianthause befindlichen Maßstab gewesen sey, wo es am 15. November 1824 nur 19′ 1″ hoch war". Nach den in (86) erwähnten Wasserstandslisten von Brunsbüttel-Hafen von 1889 bis 1902 ergibt sich die Scheitelhöhe von 1825 dort zu NN + 500 cm. Ausführliche Angaben über die Sturmflut 1825 in der Elbe finden sich in (94). Dort ist eine Tabelle abgedruckt, die für den 3./4. Februar 1825 die Scheitelwerte für 12 Orte von Cuxhaven bis Hamburg-St. Pauli enthält. Sie gehen auf LENTZ zurück. In den Akten des Niedersächsischen Hafenamtes Cuxhaven befindet sich eine zeichnerische Darstellung der Scheitelhöhen der Sturmfluten von 1825 und 1855 von Cuxhaven bis oberhalb von Hamburg, die von LENTZ ausgearbeitet worden ist. Für 1825 sind darin außer für Cuxhaven und Hamburg noch Werte für Brunsbüttel, Bösch, St. Margarethen, Störort, Asse, Wewelsfleth, Glückstadt, Stövenhaus, Westenort, Juelssand, Twielenfleth, Lühe, Borstel, Este, Waltershof und 12 Punkte im Hamburger Gebiet bis nach Neuengamme und Curslack angegeben. Die Werte für Orte, die unmittelbar benachbart sind, unterscheiden sich zum Teil um mehr als 1 Fuß voneinander, und es bestehen zwischen beiden Elbufern erhebliche Unterschiede. Offenbar sind auch unsichere Höhenangaben (z. B. Treibselkante am Deich) mitverwendet worden. In (19) Bd. 7 wird jedoch eine Mitteilung des Deichgrafen CHRISTENSEN wiedergegeben, wonach die Sturmflut von 1825 am holsteinischen Elbufer allgemein 2 bis 3 Fuß höher aufgelaufen ist als am hannoverschen. Spätere Sturmfluten des 19. Jahrhunderts werden in (65) und (94) und für das 20. Jahrhundert in (96), (109) und (110) untersucht.

2.5 Cuxhaven

Nach den Untersuchungen, über die in (86) berichtet wird, ist in Cuxhaven 1784 ein Pegel eingerichtet und mit regelmäßigen Beobachtungen begonnen worden. Die Ablesungen des Thw und Tnw wurden mindestens zu Anfang bei Tag und bei Nacht vorgenommen. Vollständiges Beobachtungsmaterial ist allerdings bisher noch nicht aufgefunden worden. In (86) ist im einzelnen angegeben, welches Material noch vorhanden ist. Von 1788 an bis 1810 wurde die Beobachtung der Thw fortgesetzt (108). Vom Februar 1787 bis September 1796 sind für jeden Monat im Staatsarchiv Hamburg von WOLTMANN geschriebene Berichte über Wetterbeobachtungen vorhanden, wobei auch jeweils MThw, HThw und NThw angegeben sind. In (107) veröffentlicht WOLTMANN die Höhe von 17 Sturmfluten, die zwischen dem 27. 11. 1790 und dem 3./4. 2. 1825 am Flutmesser Cuxhaven beobachtet worden sind. Die Zusammenstellung wurde 1834 ergänzt (108) um das HThw der Sturmflut vom 25. 1. 1788 und weitere 13 Sturmfluten zwischen dem 27. 11. 1825 und dem 29. 1. 1834. Die in (107) und (108) veröffentlichten Angaben stimmen weitgehend mit denen überein, die in den Tabellen im Staatsarchiv Hamburg von 1787 bis 1796 enthalten sind. Nur bei der Sturmflut vom 22. 3. 1791 besteht ein Unterschied von 0,15 Fuß und bei der vom 25. 1. 1788 von 0,10 Fuß.

Im Archiv des Niedersächsischen Hafenamtes befinden sich verschiedene tabellarische Zusammenstellungen über hohe Sturmfluten. Ein derartiges Verzeichnis, das alle Sturmfluten von mehr als $2^1/_2$ Fuß über ordinärer Flut seit 1813 enthält, ist in (94) abgedruckt. Weitere von LENTZ aufgestellte Verzeichnisse sind in (86) erwähnt. Für die vorliegende Arbeit ist die Zusammenstellung am wichtigsten, die die Fluten von mehr als 14 Fuß über Pegelnull von 1813 bis 1880 enthält. Es ist dabei angegeben, wie viele derartige Fluten in

Die Küste, 30 (1977), 52-143

jedem einzelnen Monat zu verzeichnen waren. Außerdem sind für die in jedem Jahr eingetretene höchste Flut Datum, Höhe über PN und Windrichtung angegeben. Aus der Zeit zwischen 1796 bis 1813 fanden sich in den Aufzeichnungen von LENTZ im Archiv des Niedersächsischen Hafenamtes nur noch die Sturmfluthöhen vom 27. 2. 1806 (20′ 5″) und 26. 12. 1806 (19¼′). Offenbar sind mindestens die Beobachtungen des Thw 1813 wieder aufgenommen worden, die nach (108) von 1788 bis 1810 ausgeführt worden waren. Da die Höhe des Nullpunktes des Cuxhavener Flutmessers mit NN — 1,746 m für die Zeit von 1788 bis 1871 bekannt ist (95), lassen sich die Höhen der oben erwähnten Sturmfluten und HThw auf NN umrechnen. Für die Höhe des am 2. 3. 1787 mit 16,45 Fuß und am 25. 1. 1788 mit 19,7 Fuß angegebenen HThw ist ein anderer Pegelnullpunkt maßgebend, da das PN offensichtlich im Februar 1788 geändert wurde. Aus einer im Staatsarchiv Hamburg gefundenen Notiz läßt sich schließen, daß das Pegelnull 1788 1,8 Fuß (52 cm) höher gelegt wurde. Das Pegelnull von Cuxhaven hat demnach bis einschließlich Januar 1788 auf NN — 2,27 m gelegen. Diese Angabe dürfte richtig sein, denn der Unterschied zwischen dem MThw für die 12 Monate vom Februar 1787 bis Januar 1788 (11,62′) und dem Mittel des MThw der Jahre 1789 bis 1795 (9,97′) beträgt 1,65′ = 47 cm. Der größte Unterschied zwischen dem MThw von 2 aufeinanderfolgenden Jahren liegt in dieser Zeit zwischen + 9,7 cm und – 4,0 cm.

Für den Sturmflutscheitel vom 3./4. Februar 1825 finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben. WOLTMANN nennt in (107) und (108) 22′ 0″ am Flutmesser = NN + 457 cm (PN = NN — 1,746 m). Dieser Wert stimmt mit dem in (2) und (61) über ordinärer Ebbe angegebenen überein. Über ordinärer Flut wird in (61) 12′ und in (2) 12′ 3″ genannt. Damit ergeben sich nach Hamburger Fußmaß und bei Annahme von MThw = NN + 1,06 m nach Abb. 10 NN + 450 cm und NN + 457 cm. In den im Niedersächsischen Hafenamt vorhandenen Zusammenstellungen gibt LENTZ die Höhe mit ca. 22¼′ = NN + 463 cm an, was mit NEHLS (65) 8,18 m über Hamburger Null (NN — 3,538 m) = NN + 464 cm praktisch übereinstimmt. In der Tabelle in (94), die auf LENTZ zurückgeht, wird NN + 466 cm angegeben. Als wahrscheinlichster Wert soll für die weiteren Betrachtungen NN + 464 cm verwendet werden; dieser Wert wurde in Tabelle 1 übernommen.

Von den sehr schweren Sturmfluten vor 1787 gibt es für Cuxhaven keine Angaben. Sturmflut-Höhenmarken, wie es sie – wie in den früheren Abschnitten geschildert – an anderen Orten gab, sind von Cuxhaven nicht bekannt. Es soll im folgenden der Versuch gemacht werden, für die Sturmflut von 1717 den wahrscheinlichen Scheitelwasserstand für Cuxhaven aus den Angaben von benachbarten Orten zu ermitteln. Als Nachbarorte, für die von der Weihnachtsflut 1717 einigermaßen sichere Scheitelhöhen bekannt sind, kommen Dangast, Bremerhaven, Tönning und Hamburg in Betracht.

Zum Vergleich sollen die Scheitelhöhen der Sturmfluten von 1825 und 1962 herangezogen werden. Sie gelten zusammen mit der Sturmflut von 1717 als die schwersten Sturmfluten für die genannten Orte. Nur in Hamburg und Cuxhaven waren die Scheitelwerte am 3. 1. 1976 höher als bei allen früheren Sturmfluten. Nach Abb. 2 liegen Dangast, Cuxhaven und Tönning fast auf einer Geraden, die etwa in Richtung Südwest/Nordost verläuft, also etwa senkrecht zu der bei den drei Sturmfluten vorherrschenden Nordwest-Windrichtung. In Abb. 6 sind auf der Abszisse die 4 Orte Dangast, Bremerhaven, Cuxhaven und Tönning aufgetragen. Auf den zu diesen Orten gehörenden Ordinaten sind die bekannten Thw der drei Sturmfluten angegeben (vgl. dazu Abschnitte 2.3, 2.6 und 2.7). Die Punkte der Thw von 1825 und 1962 von Cuxhaven wurden mit den entsprechenden Punkten der anderen drei Orte geradlinig verbunden. Zu diesen Geraden wurden dann durch die entsprechenden Punkte der drei Orte für 1717 parallele Geraden gezogen. Sie schneiden die Ordinate

von Cuxhaven zwischen NN + 424 cm und NN + 436 cm. In diesem Bereich wird der Sturmflutscheitel 1717 in Cuxhaven sehr wahrscheinlich gelegen haben. Nach Abschnitt 2.4 lag HThw 1717 in Hamburg auf NN + 506 cm. Die Scheitelunterschiede aller schweren Sturmfluten des 19. Jahrhunderts zwischen Cuxhaven und Hamburg lagen nach (65) zwischen + 90 cm und – 6 cm, die Scheitelunterschiede aller besonders hohen Sturmfluten lagen aber in einem wesentlich kleineren Bereich. In Abb. 6 sind die Höhen für Cuxhaven

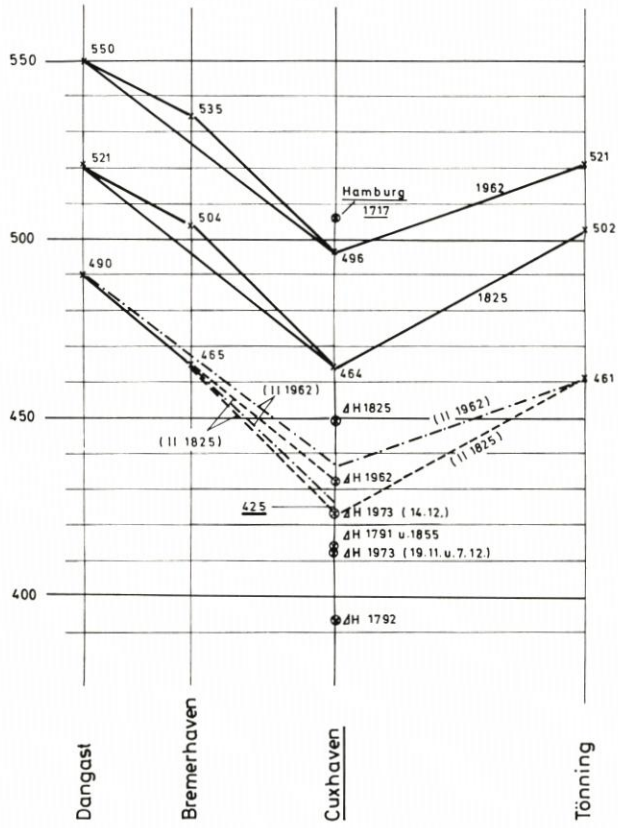


Abb. 6. Ermittlung der Scheitelhöhen von 1717 für Cuxhaven

eingetragen, die sich jeweils ergeben, wenn man von dem Scheitelwasserstand der Sturmflut 1717 in Hamburg die Scheiteldifferenzen zwischen Hamburg und Cuxhaven von allen bekannten Sturmfluten abträgt, die in Hamburg höher als NN + 500 cm (85) aufliefen. Diese Werte sind mit ΔH und der Jahreszahl bezeichnet. Aus Abb. 6 geht hervor, daß der untere Wert für den Sturmflutscheitel Cuxhaven, der sich auf Grund des Bezugs zu den benachbarten Küstenpegeln ergibt, etwa in der Mitte des Bereichs liegt, der sich auf Grund des Bezugs zu Hamburg ergibt. Es wurde daher NN + 425 cm als wahrscheinlicher Scheitelwert für die Sturmflut 1717 für Cuxhaven angenommen.

In Tabelle 1 sind alle bekannten jährlichen HThw von Cuxhaven für die Zeit vor 1841, bezogen auf NN, zusammengestellt. Außerdem sind die aus den verfügbaren Unterlagen bekannten Sturmflutscheitelwerte aus den Sturmflutperioden 1824, 1828, 1833 und

Die Küste, 30 (1977), 52-143

1834 angegeben. Soweit möglich, sind sie den entsprechenden Werten von Hamburg gegenübergestellt. Der Wert für 1717 wurde eingeklammert, da er durch Bezug zu anderen Werten ermittelt wurde. Die HThw von 1813 bis 1840 gelten für die Kalenderjahre, zwischen 1787 und 1796 sind sowohl die HThw der Kalenderjahre als auch die der Abflußjahre angegeben. Gelegentlich ergaben sich zwischen den Aufzeichnungen von LENTZ und den in (107) und (108) veröffentlichten Angaben Differenzen von einem Zoll. Es wurden die von LENTZ übernommen. Bei Unterschieden in den Werten von 1787 bis 1796 wurden die im Hamburger Staatsarchiv vorhandenen Aufzeichnungen als maßgeblich angenommen. Interessant sind noch die in der letzten Spalte der Tabelle angegebenen Differenzen der Scheitelwerte zwischen Hamburg und Cuxhaven. NEHLS (65) schreibt, daß bei allen von ihm untersuchten 17 Sturmfluten des 19. Jahrhunderts die Scheiteldifferenz von Hamburg und Cuxhaven zwischen + 90 cm und – 6 cm gelegen habe. Er hat dabei jedoch nicht die Sturmflut vom 14. 11. 1824 mit einer Differenz von 96 cm berücksichtigt (Tab. 1), die wohl die größte Differenz im 19. Jahrhundert war. Die größte negative Differenz des 19. Jahrhunderts war 1898 – 11 cm. Im 18. Jahrhundert traten 1792 und 1793 mit 113 und 126 cm noch größere Differenzen auf (Tab. 1), die nur von der Differenz bei der Sturmflut am 3. 1. 1796 mit 135 cm übertroffen werden. Die in Tabelle 1 aufgeführte größte negative Differenz von – 20 cm am 16. 2. 1789 bezieht sich wahrscheinlich nicht auf dieselbe Tide. Das in Hamburg mit 11′ 8″ registrierte Thw trat um 8.45 Uhr vormittags ein, das Thw mit 16,1′ in Cuxhaven wahrscheinlich am Nachmittag des 16. 2. 1789.

2.6 Geestemündung/Bremerhaven

An der Stelle, wo die Geeste in die Weser mündet, war 1672 auf dem Nordufer der Geeste mit dem Bau der schwedischen Festung Karlsburg begonnen worden, die die Wesermündung und damit die Schiffahrt nach Bremen beherrschen sollte. Schon am Anfang des 18. Jahrhunderts verödete die Festung, und sie soll durch die Weihnachtsflut 1717 völlig zerstört worden sein (88). Ein Pegel, an dem exakte Wasserstandsbeobachtungen hätten ausgeführt werden können, war damals, wie im gesamten 18. Jahrhundert, nicht vorhanden. 1812 hat ein französischer Pegel in der Geestemündung bestanden. Als der Pfahl mit der Pegelskala am 21. 9. 1812 abbrach, wurde ein neuer Pegel an der Leher Geestebrücke, etwa 3 km oberhalb der Mündung der Geeste in die Weser, eingerichtet (86). Für die Sturmflut vom Februar 1825 sind in (2) und (61) bereits Scheitelhöhen „in der Geeste" überliefert. Nach diesen Quellen soll das HThw 12′ 6″ über ordinärer Flut gewesen sein. Es ist möglich, daß damals die französische Pegellatte an der Leher Brücke noch bestand oder durch eine andere ersetzt worden war, die vielleicht noch in Benutzung war und an der die Höhe des Sturmflutscheitels 1825 beobachtet wurde.

Bremerhaven wurde erst 1827 gegründet, als hier mit dem Bau eines Vorhafens für Bremen begonnen wurde. Zu der Zeit ist auch in der Geestemündung ein neuer Pegel eingerichtet worden, von dem allerdings kein Beobachtungsmaterial mehr vorhanden ist (86). Sicher war den Erbauern des Hafens Bremerhaven die Scheitelhöhe der Sturmflut 1825 bekannt, sie haben sie sicherlich von dem Ort, an dem sie gemessen worden war, also wahrscheinlich von der Leher Brücke, auf den neuen Pegel am Hafen bezogen. Originalangaben über die Sturmfluthöhe wurden im Staatsarchiv Bremen allerdings nicht gefunden. In (102) wird die Höhe der Sturmflut von 1825 für Bremerhaven „nach GWINNER" mit NN + 494 cm und nach neuen Ermittlungen mit NN + 504 cm angegeben, wobei nicht bekannt

ist, wie diese Ermittlungen angestellt wurden. Es wird darauf hingewiesen, „daß die HThw-Werte von 1717 und 1825 nicht ganz gesichert sind" (102). In (66) wird als Sturmflutscheitel von 1825 3,45 m über MThw 1896/1920 angegeben, er würde damit auf NN + 501 cm liegen. Der in (102) angegebene Wert soll für die weiteren Betrachtungen als richtig angenommen werden. Die Sturmflut vom 1. 1. 1855 wird für Bremerhaven in (102) mit NN + 453 cm angegeben, in (66) mit NN + 494 cm. Welcher Wert richtig ist, war bisher nicht aufzuklären. Zu dieser Zeit hat mit Sicherheit ein Pegel in Bremerhaven bestanden, wenn auch zusammenhängendes Beobachtungsmaterial erst ab 1862 noch vorhanden ist (86). In (66) werden allerdings Sturmflutwerte ab 1845 verwendet.

An der vor dem Deutschen Schiffahrtsmuseum im September 1975 errichteten „Sturmflutsäule" (87) sollte auch eine Höhe für die Weihnachtsflut 1717 angegeben werden. Der Verfasser ermittelte diese Höhe entsprechend wie für Cuxhaven (siehe Abschnitt 2.5) durch Bezug zu bekannten Werten von Dangast und Tönning und unter Berücksichtigung des für Cuxhaven ermittelten Wertes (Abschnitt 2.5). Auf diese Weise ergab sich der Sturmflutscheitel der Weihnachtsflut mit NN + 465 cm. Dieser Wert stimmt fast genau mit dem in (102) mit NN + 464 cm angegebenen überein, von dem nicht bekannt ist, wie er gefunden wurde. Nach (102) soll er von PLATE ermittelt worden sein. Da der Wert von 1717 für die Geestemündung nicht unmittelbar überliefert worden ist, sondern durch Bezug festgestellt wurde, wird er bei weiterer Verwendung in Klammern angeführt. In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß für Blexen in (2) die Sturmfluthöhe für 1717 in Bezug zu 1825 angegeben wird. Es heißt dort:

> „Einige wenige Merkmale gibt es indeß, soviel mir bekannt geworden, die eine Vergleichung erlauben. Darunter gehört die sehr hoch stehende Kirche von Blexen im Herzogthum Oldenburg, hart an der Weser, gegen welche sie mit ihrem Kirchhof, der hohen Lage wegen, mit keinem Deich versehen ist. In der gedachten Weihnachtsfluth stand das Wasser 8 Fuß niedriger als die Kirche, jetzt aber 6 Fuß."

In (105) ist dieses Zitat ebenfalls übernommen. Demnach hätte der Unterschied in den Höhen von 1717 und 1825 2 Fuß, also rund 60 cm, betragen, nach der obigen Ermittlung beträgt er dagegen nur rund 40 cm. Dieser Unterschied ist unbedeutend. Die Angaben in (2) und (105) sind nur sehr allgemein gehalten, sie gehen auf (39) zurück. Dort heißt es über Blexen:

> „Weil diese Kirche so hoch steht, und zwar wol 8 Fuß höher als das Wasser gewesen, so ist diese die eintzige gewesen, worin in den Weyhenachts-Tagen geprediget worden."

Den genannten 8 Fuß liegt also keine genaue Einmessung des Wasserstandes zugrunde, sie sind nur eine ungefähre, geschätzte Angabe. Man weiß auch nicht, welcher Punkt der Kirche als Bezugspunkt für diese Angabe gemeint ist, feste Marken waren offenbar nicht vorhanden. Daher ist der Unterschied zwischen den Scheitelhöhen 1717 und 1825 von 2 Fuß auch nur als ungefähre Schätzung anzusehen. Auch für Dangast wird der Unterschied zwischen 1825 und 1717 mit 2 bis 3 Fuß angegeben, (2) und (61), während der Höhenunterschied der beiden Steine 1825 nach Abschnitt 2.3 37 cm betragen haben dürfte. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß zwischen Blexen und der Geestemündung bei schweren Sturmfluten Unterschiede in den Wasserständen vorhanden sind und diese Unterschiede bei einzelnen Sturmfluten verschieden groß sein können.[11]) Die Kirche Blexen liegt heute nicht mehr so exponiert, da in der Zwischenzeit eine Vordeichung ausgeführt wurde.

---

[11]) So betrug z. B. der Unterschied zwischen den Scheitelhöhen von Bremerhaven und dem oberhalb von Blexen gelegenen Nordenham am 16./17. 2. 1962 + 16 cm, am 3. 1. 1976 + 6 cm.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Nach den vorstehenden Ausführungen ergeben sich für die Geestemündung bzw. für Bremerhaven folgende Scheitelwerte von hohen Sturmfluten:

25. 12. 1717 NN + (465 cm)
3./4. 2. 1825 NN + 504 cm
1. 1. 1855 NN + 453 cm oder NN + 494 cm

Von anderen Orten an der Unterweser ist von Brake bekannt, daß 1825 der Sturmflutscheitel 13 Fuß über ordinärer Flut gelegen hat, (2) und (61). In Brake ist 1812 auch ein französischer Pegel eingerichtet worden (86), der vielleicht weiterbestanden hat und an dem die Beobachtung 1825 vorgenommen sein könnte. Von der WSD Bremen wird die Scheitelhöhe von 1825 für Brake mit NN + 496 cm genannt, für Elsfleth lautet die entsprechende Angabe NN + 494 cm, für Farge und Vegesack NN + 490 cm. Nach (86) sind in Vegesack und Rekum (nahe bei Farge) 1812 auch schon Pegelbeobachtungen ausgeführt worden, in Elsfleth allerdings erst 1834. Aus welcher Quelle die bei der WSD Bremen bekannten Wasserstandsangaben stammen, ist nicht bekannt.

An der großen Weserbrücke in Bremen sind 1825 Wasserstände registriert worden. Normalerweise war dort zu der Zeit noch keine Tidebewegung (86). Die Wasserstände wurden in der Regel mittags abgelesen. Nach den im Staatsarchiv Bremen vorhandenen Listen der Tageswerte von 1823 bis 1828 war der Wasserstand am 3. 2. 1825 mittags 6′ 6″ und am 4. 2. 1825 7′ 10″. Der höchste Wert im Februar 1825 am 17. 2. betrug 10′ 4″, der höchste des Jahres 1825 war am 9. Januar mit 12′ 7″. Der höchste Wert überhaupt in dem Zeitabschnitt seit Beginn der Messungen bis 1828 war nach einer anderen Liste 16′ 8″ im Februar 1799. Der mittlere Wasserstand am Pegel Große Weserbrücke betrug im Februar 1825 8′ 7″, im gesamten Kalenderjahr 1825 4′ 3/4″. Der Wasserstand am 4. Februar lag also nur rd. 3′ (rd. 95 cm) über dem Jahresmittel.

2.7 Tönning

J. N. Tetens berichtet von seiner 1778 ausgeführten Reise an die Westküste (101) von vier Sturmflutmarken an dem Haus der Schiffergilde im Hafen von Tönning. Er gibt die Höhen der einzelnen Marken über dem Erdboden an. Dadurch ist die Höhenlage der Sturmflutscheitel vom 26. 2. 1625, 11. 10. 1634, 25. 12. 1717 und 7. 10. 1756 relativ zueinander festgelegt. Das 1624 erbaute Haus der Schiffergilde wurde 1808 durch einen Neubau ersetzt (106), bei dem die Sturmflutmarken fortgelassen wurden. Der Tönninger Hafen zweigt von dem Nordufer der Eider ab. Auf der Nordseite des Hafens liegt das Schifferhaus auf dem Deich, der sicher schon einige Jahrhunderte vorher bestanden hat, so daß mit wesentlichen Setzungen seit dem 17. Jahrhundert nicht zu rechnen ist. Der Hafen liegt ziemlich geschützt, hohe Wellen können bei Sturm, wenn das Wasser bis an die auf dem Deich stehenden Häuser geht, nicht auftreten. An den senkrechten Häuserwänden kann man den Wasserstand recht gut beobachten und kennzeichnen. Man kann daher von den früheren Sturmflutmarken am alten Schifferhaus annehmen, daß sie den tatsächlichen Wasserstand recht genau und ohne Wellenauflauf anzeigten und daß alle Beobachtungen mit gleicher Genauigkeit gemacht wurden. Die relative Höhenlage der Sturmflutscheitel zueinander dürfte daher recht sicher sein. Tetens teilt in einer Fußnote noch mit:

> „Die neueste hohe Fluth vom 25sten Jenner dieses Jahres 1788, die man zu den höchsten rechnen kann, ist zu Hamburg 11 Zoll unter der von 1756 gewesen; auch in Eyderstedt ist sie um Ein Fuß, und noch etwas mehr, niedriger bemerkt worden."

Zählt man zu den in Hamburg am 25. 1. 1788 am Flutmesser beobachteten 17′ 7″ (Tabelle 1) 11″ hinzu, so ergeben sich 18′ 6″, die mit den ursprünglichen Angaben von REINKE (71) übereinstimmen. Für Tönning (Eiderstedt) soll der Sturmflutscheitel für 1788 1′,2″ (TETENS: „ein Fuß und noch etwas mehr") rd. 34 cm niedriger als der von 1756 angenommen werden.

Von der Sturmflut 1825 ist noch heute eine originale Sturmfluttafel aus Sandstein in Tönning vorhanden, die Abb. 7 zeigt. Sie befindet sich an dem 1783 erbauten Kanalpackhaus auf der Südseite des Hafens, also auf der dem Schifferhaus gegenüberliegenden Hafenseite. Offenbar ist irgendwann bei Reparaturarbeiten an dem Packhaus die Sturmfluttafel umgesetzt worden, denn sie hatte 1962 nicht mehr die für Tönning ermittelte Höhe des Sturmflutscheitels von 1825. Sie ist beim Anbringen einer Sturmflutmarke am Packhaus für 1962 (76) auf die richtige Höhe von 1825 umgesetzt worden, (74) und (77). Leider bestand 1825 das alte Schifferhaus mit den vier Sturmflutmarken nicht mehr, so daß keine unmittelbaren Wasserstandsmessungen am selben Ort vorgenommen werden konnten. Nach (37) ist aber „nach mehreren übereinstimmenden, gleich nach der Flut von 1825 zu Tönning ... angebrachten noch vorhandenen Zeichen" die Höhenlage des Sturmflutscheitels vom Februar 1825 zu NN + 502 cm ermittelt worden. FISCHER (19) gibt an, daß die Höhenlage von 1825 mit NN + 502 cm nach sorgfältigen Ermittlungen der Landesanstalt für Gewässerkunde festgelegt worden sei. Die von SCHELLING (89) angegebene Höhe von NN + 512 cm ist demnach unrichtig.

Am 1808 erbauten Schifferhaus befand sich bis 1963 eine Höhenmarke der Flut von 1825, die auch die Höhenangabe NN + 502 cm zeigte. Rechts daneben, etwas tiefer, befand sich eine weitere Granittafel mit einer Marke der Sturmflut vom 16. 2. 1916 und links daneben, am Nachbargebäude, eine Marke von der Sturmflut vom 24. 11. 1938. Abb. 8 zeigt die drei Sturmfluttafeln im Jahre 1963. Wann diese Granittafeln angebracht worden sind, ist nicht genau feststellbar. Die Tafel von 1938 ist wohl unmittelbar nach der Sturmflut angebracht worden. Aus der Angabe NN + 4,75 m = 3,22 m über MHW (MThw), ergibt sich MThw zu NN + 153 cm. Dieser Wert trifft etwa für das Mittel der Jahre 1936/40 zu. Nach den Angaben auf dem Stein von 1916, Scheitelhöhe der Sturmflut 465 cm = 3,41 über MHW, ergibt sich MThw zu NN + 1,24 m. Das MThw, auf das sich die Angaben des Steines für 1825 beziehen, ist 502 — 372 = NN + 130 cm. Dieser Wert ist auf keinen Fall das zeitgenössische MThw von 1825. Auf dem Stein von 1916 steht außerdem noch „+ 9,71 a. Pegel". Tatsächlich war NN + 471 cm eine am Schreibpegel am 16. 2. 1916 ausgeführte Nebenbeobachtung, NN + 4,65 m ist dagegen der Scheitelwert der ausgeglichenen Tidekurve. Legt man 9,71 — 5,00 = NN + 4,71 m als HThw zugrunde, so lag MThw 4,71 — 3,41 = 1,30 m über NN, wie auch auf dem Stein angegeben ist. Dieser Wert entspricht MThw 1915. Es ist daher anzunehmen, daß der Stein für 1916 kurze Zeit nach der Sturmflut zusammen mit dem Stein für 1825 gesetzt wurde und man beide Sturmflutscheitel auf das MThw des gerade vergangenen Jahres 1915 bezogen hat. Die Sturmfluten von 1916 und 1938 waren nach 1825 bis 1962 die höchsten Sturmfluten in Tönning. 1963 wurde am Schifferhaus eine neue Sturmfluttafel angebracht, die die Sturmfluthöhen von 1962, 1938 und 1825 anzeigt, eine Abbildung dieser Tafel befindet sich in (76), (77) und (78). Der Stein mit der Flutmarke von 1916 wurde an das Nachbarhaus versetzt, wo sich bis dahin die Sturmflutmarke von 1938 befand.

Um die Höhenangaben von den vier oben erwähnten Sturmfluten des 17. und 18. Jahrhunderts auf NN beziehen zu können, muß wenigstens bekannt sein, wie groß der Unterschied zwischen dem Scheitelwert einer dieser Sturmfluten und dem von 1825 war. In (74) ist hierauf ausführlich eingegangen worden. Der Unterschied zwischen den Sturmfluten von

Die Küste, 30 (1977), 52-143

1634, 1717, 1726 und 1756 zu 1825 soll nach (89) und (37) 1′ 5″ betragen haben. In (74) konnte nachgewiesen werden, daß es die Sturmflut von 1726 nicht gegeben hat, es liegt eine Verwechslung mit der „hohen Eisflut" am 26. 2. 1625 vor. Demnach handelt es sich bei den vier Sturmfluten um die, die auf den Marken am alten Schifferhaus angegeben waren. Die



Abb. 7. Sturmfluttafel von 1825 am Hafen Tönning



Abb. 8. Ehemalige Sturmflutmarken von 1825, 1916 und 1938 am Hafen Tönning

Scheitelhöhen der niedrigsten (1625) und der höchsten Flut (1756) lagen aber 4′ 8″ — 1′ 6″ (= 91 cm) auseinander (101). Die Angabe des Unterschiedes von 1′ 5″ (41 cm) zur Sturmflut 1825 kann sich daher nur auf eine von den vier Scheitelhöhen bezogen haben. Wie aus (74) hervorgeht, dürfte sich der Unterschied entweder auf die Sturmflut von 1634 oder die von 1717 beziehen, die auch nach dem in (74) und (80) zitierten Augenzeugenbericht des Organisten Hasse sehr dicht beieinander lagen. Nach den von Tetens erwähnten Sturmflutmarken betrug der Unterschied zwischen den beiden Sturmfluten 1/4 Fuß (7 cm). In (74)

wurde der Unterschied auf die spätere von beiden, die Weihnachtsflut von 1717, bezogen. Es ergeben sich damit für Tönning die folgenden historischen Sturmflutscheitelhöhen:

26. 2. 1625	NN + 396 cm
11. 10. 1634	NN + 468 cm
25. 12. 1717	NN + 461 cm
7. 10. 1756	NN + 487 cm
25. 1. 1788	NN + 453 cm
3./4. 2. 1825	NN + 502 cm

Wie gesagt, ist es möglich und nach Abschnitt 3.4 sogar wahrscheinlich, daß die Scheitel der ersten fünf Fluten 7 cm tiefer lagen, wenn nämlich der Unterschied von 1′ 5″ auf den Scheitel der Flut von 1634 bezogen wird. Außerdem ist nicht sicher, ob den Höhenangaben von TETENS Hamburger oder Holsteiner Fußmaß zugrunde zu legen ist. Entsprechend (74) wurde hier Hamburger Maß angenommen (1′ = 12″ = 28,7 cm), das nach (19) seit 1768 gesetzliches Maß in Holstein war. Andererseits verwendet TETENS bei Mitteilung der Pegelbeobachtungen von Brunsbüttel, (83) und (86), das Holsteiner Fußmaß (1′ = 12″ = 29,9 cm). Die Unterschiede in den Scheitelhöhen sind aber nur gering, wenn man für die Höhendifferenzen der vier Sturmflutscheitel, die am alten Schifferhaus angegeben waren, das Holsteiner Maß annimmt (1625 NN + 394 cm, 1756 NN + 488 cm). HUNDT (37) nimmt die Scheitelhöhen von 1634, 1717 und 1756 als gleich an, da er die relativen Unterschiede, die TETENS (101) angibt, nicht berücksichtigt. Er gibt außerdem 1′ 5″ Hamburger Maß mit 46 cm an und kommt dadurch für die genannten Sturmfluten auf eine Scheitelhöhe von NN + 456 cm.

Außer den oben angeführten gibt es keine exakten Beobachtungswerte von Sturmflutscheitelhöhen in Tönning vor Beginn der regelmäßigen Pegelbeobachtungen im Jahre 1867. An verschiedenen Stellen in der Literatur oder in handschriftlichen Aufzeichnungen wird mitgeteilt, daß eine Sturmflut ebenso hoch und höher gewesen sei wie eine der vorstehend aufgeführten. In der in (74) erwähnten Zusammenstellung der Tönninger Organisten heißt es z. B. für die Sturmflut vom 31. 12. 1720 und 1. 1. 1721, daß sie höher gewesen sei als die Weihnachtsflut 1717. Solche Angaben können aber für einen echten Höhenvergleich nicht verwendet werden, weil sie zu ungenau sind. Sie geben nur allgemeine, sehr individuelle Eindrücke einzelner Beobachter wieder. Auch die in der gleichen Quelle enthaltene Angabe, daß die Flut von 1717 2 bis 3 Fuß höher gewesen sei als die von 1634, ist nicht verwendbar. Für Tönning gilt sie nicht, da nach den glaubwürdigen Nachrichten von TETENS über die Marken am Schifferhaus der Scheitel von 1717 7 cm tiefer lag als der von 1634, was auch aus den Angaben des Augenzeugen HASSE (74) hervorgeht. Natürlich kann örtlich an irgendwelchen Stellen der Westküste die Flut von 1717 2 bis 3 Fuß höher gewesen sein als die von 1634, und diese Nachricht hat der Chronist dann übernommen und verallgemeinert. So wird in (105) ohne Quellenangabe mitgeteilt, daß das Wasser 1717 in Husum 2 bis 3 Fuß höher stand als 1634. Für eine Untersuchung wie die der vorliegenden Arbeit sind derartige allgemeine Höhenangaben nicht zu verwerten.

2.8 Nordfriesland

In der „Newen Landesbeschreibung" von DANCKWERTH (11) sind 2 Karten des Husumer Kartographen Johannes MEJER einander gegenübergestellt, die Nordfriesland im 13. Jahrhundert und im ersten Drittel des 17. Jahrhunderts zeigen. Diese Gegenüberstellung verdeutlicht, wie stark sich die Topographie dieser Landschaft im Laufe der Jahr-

Die Küste, 30 (1977), 52-143

hunderte verändert hat, und zwar vorwiegend unter dem Einfluß von Sturmfluten. Wenn die „historische Karte" von MEJER die Verhältnisse auch nicht vollkommen richtig wiedergibt, so ist doch unbestreitbar, daß im nordfriesischen Raum seit dem 13. Jahrhundert erhebliche Landverluste eingetreten sind. Das Festland erstreckte sich ursprünglich sehr viel weiter nach Westen als heute. Davon zeugen verläßliche Nachrichten über Dörfer (19), die früher dort bestanden haben, wo heute weite Wattflächen sind. Archäologische Funde und Grabungen weisen auf eine Besiedlung der heutigen Marschen zur Zeit des Hochmittelalters hin (4). MEJER hat sicher alle ihm verfügbaren Nachrichten verwendet, um seine „historische Karte" von Nordfriesland zu konstruieren.

Besonders starke Landverluste sind im 13. und 14. Jahrhundert eingetreten. Die Wirkung der Sturmfluten wurde u. a. wegen des Torfabbaus so folgenschwer, wie in (15) und (4) näher ausgeführt wird. Die Bedeichung war wohl auch nicht ausreichend, denn von manchen frühen Sturmfluten, z. B. von der vom 16. 1. 1300, wird berichtet, daß sie mehrere Ellen über alle Deiche gingen (19). Vielfach wird der hauptsächliche Landverlust der „Großen Mandrenke" vom 16. Januar 1362 zugeschrieben, was jedenfalls für Nordfriesland umstritten ist (74). Sicherlich wird diese Flut große Schäden und Landverluste gebracht haben. Es ist wahrscheinlicher, daß es sich bei den Landverlusten um die Wirkung einer Reihe von schweren und sehr schweren Sturmfluten gehandelt hat, die im 14. Jahrhundert auftraten (74) und die dazu führten, daß die Nordsee bis an den Geestrand vordringen konnte. Nur einzelne größere Inseln und zahlreiche Halligen blieben bestehen. Nach der Sturmflut oder den schweren Sturmfluten des 14. Jahrhunderts setzte die Zurückgewinnung des untergegangenen Landes ein; DITTMER (15) spricht von 1362 als dem Geburtsjahr der Landgewinnung überhaupt. Tatsächlich sind im 15. Jahrhundert in Nordfriesland einige Köge wieder bedeicht worden, eine große Zahl folgte im 16. Jahrhundert, (16), (17) und (12). Schwere Sturmfluten brachten Rückschläge. Als besonders schwere Sturmflut, die wieder große Landverluste brachte, ist die vom 11. Oktober 1634 zu nennen. Zahlreiche Köge wurden überflutet, die Insel Strand zerriß in die heutigen Inseln Nordstrand, Pellworm und einige Halligen. In (37) wie auch in (19) und (12) sind Darstellungen zu finden, wie sich die nordfriesische Küste von der Mitte des 17. Jahrhunderts bis heute verändert hat.

Wie aus dem vorigen Abschnitt hervorgeht, ist der nordfriesische Raum ein Gebiet, das in der Zeitspanne, die in der vorliegenden Arbeit betrachtet wird, großen Veränderungen in der Topographie unterworfen war. Diese Veränderungen hatten natürlich auch Auswirkungen auf die Wasserstände und ihre Entwicklung. Bei allen Vergleichen historischer Wasserstandsangaben mit heutigen Wasserständen muß man die in der Zwischenzeit eingetretenen topographischen und morphologischen Veränderungen berücksichtigen. In dem Umfange, wie das in Nordfriesland erforderlich ist, war es bei den in den vorhergegangenen Abschnitten geschilderten Orten nicht notwendig. Als weitere Schwierigkeit kommt in Nordfriesland hinzu: Mit Ausnahme von Dangast haben an allen in den Abschnitten 2.2 bis 2.7 behandelten Orten schon am Ende des 18. Jahrhunderts Pegel bestanden oder wahrscheinlich bestanden – in Hamburg sogar schon 100 Jahre früher –, und von allen Orten sind von mehreren sehr schweren Sturmfluten aus dem 18. und der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts schon relativ verläßliche Scheitelhöhen überliefert. In Nordfriesland treffen diese Voraussetzungen nicht zu. Erst 1803 wurde ein erster „Flutmesser" in Pellworm eingerichtet; Wasserstandsdaten sind aber nur für ein halbes Jahr verfügbar. Weitere Pegel wurden 1835 eingerichtet, bisher konnten aber nur von einigen von ihnen Wasserstandsdaten für 3 Wochen im Juni 1835 gefunden werden (86). Die ersten Pegel, die in Nordfriesland eingerichtet und seitdem ständig beobachtet wurden, sind die Pegel Husum

(1867) und Dagebüll (1873). Vom April 1867 an für Husum und vom Februar 1873 an für Dagebüll sind die Wasserstandslisten beim Wasser- und Schiffahrtsamt Tönning vorhanden (75). Erst von diesen Daten an sind exakte Angaben über die Scheitelhöhen von Sturmfluten verfügbar.

Aber nicht nur konkrete Pegelwerte von Sturmflutscheiteln fehlen für Nordfriesland aus der Zeit vor 1867/1873, auch Höhenmarken für einzelne, sehr schwere Sturmfluten sind außerordentlich selten, und sie geben zumeist nur den Wasserstand im überfluteten Hinterland an. Die meisten Angaben über Scheitelhöhen von Sturmfluten, die sich in der Literatur finden, sind recht vage. Sie beziehen sich auf Deichhöhen, die nicht mehr bekannt sind oder auf „die Höhe der ordinären Flut", die selbst für den betreffenden Zeitpunkt nicht bekannt ist und allenfalls durch Extrapolation der aus den Aufzeichnungen benachbarter Pegel ermittelten MThw gewonnen werden kann. Derartige Werte sind naturgemäß recht ungenau. Zudem sind von den meisten Orten nur die Werte für eine oder zwei Sturmfluten bekannt. Aus allen diesen Gründen lassen sich für Nordfriesland nicht mit der gleichen Genauigkeit Aussagen über die Entwicklung der Sturmflutscheitelhöhen machen, wie es in den vorhergehenden Abschnitten möglich war. In diesem Abschnitt 2.8 sollen alle bisher bekannten Angaben über Sturmfluthöhen in Nordfriesland kritisch untersucht werden, um nach Möglichkeit doch eine Aussage über deren Entwicklung machen zu können. In erster Linie wurde das 16bändige Werk von MÜLLER und FISCHER, (62), (63) und (19), herangezogen. Es enthält eine Fülle von Angaben über Sturmfluten, die die Verfasser bei der Durcharbeitung von Archiven, Chroniken und sonstiger Literatur ermitteln konnten[12]). Im allgemeinen brauchte daher nicht auf das originale Material zurückgegriffen zu werden.

Als TETENS bei seiner Reise 1778/79 an die Westküste nach Tönning kam, schrieb er über die Steine mit den Höhenmarken der Sturmfluten von 1625, 1634, 1717 und 1756 am Schifferhaus (101):

> „Es sind die ersten dergleichen Denkmähler, die ich antreffe und mit Begierde suche. Sie werden aber wahrscheinlich nach Brahms Klagen zu urtheilen sehr selten sein."

Ihm war also offenbar die älteste überhaupt vorhandene Sturmflutmarke, die sich in Deutschland befindet, in der Kirche von Klixbüll, nicht bekannt. In (17) schreibt der Deichinspector ECKERMANN:

> „In der Kirche zu Klixbüll befinden sich, durch einen dicken Farbenstrich auf einer hölzernen Wandtäfelung markirt, Höhenzeichen für die Sturmfluthen von 1532 und 1634. Wenn nun auch anzunehmen ist, daß im Lauf der Jahrhunderte bei vorgenommenen Ausbesserungen der richtigen Erhaltung der Zeichen kaum die gebührende Sorgfalt zugewendet worden ist, so dürften die Zeichen doch nicht allzuweit von der Wahrheit sich entfernen und es ist deßhalb nicht ohne Interesse festzustellen, daß nach ihnen die Fluth 1532 4,16 m diejenige von 1634 4,30 m über Normalnull gewesen ist."

Der Auffassung von ECKERMANN, daß die Höhenmarken wohl ungefähr den richtigen Wasserstand angeben dürften, wenn auch kleine Veränderungen der Höhenlage durch gelegentliches Nachziehen der Farbstriche möglich sind, ist zuzustimmen. Die Sturmflutmarken in der Klixbüller Kirche und ihre Höhen werden auch in (105) und (19) erwähnt. Die Kirche Klixbüll wurde schon im 13. Jahrhundert erbaut (6). Sie liegt heute weit im Binnenland, am Rande der Geest (Abb. 2 und Abb. 9). Der südlich von Klixbüll gelegene Klixbüller Koog wurde bereits im 15. Jahrhundert eingedeicht, der westlich und nordwestlich gelegene Gotteskoog erst 1562 bis 1566, (16), (19) und (69). Demnach lag bei der

---

[12]) Dabei war mir ein von Herrn Dr.-Ing. M. PETERSEN, Kiel, in Bearbeitung befindliches Sachregister für das gesamte Werk eine wertvolle Hilfe.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Allerheiligenflut 1532 die Kirche Klixbüll nicht hinter einem Deich, sie lag im Innern einer Bucht, die im Süden durch den Klixbüller Koog und den Kornkoog begrenzt war (Abb. 9 und Zeichnung in [69]). Im Nordwesten war die Wiedingharde (Horsbüllharde) vorgelagert, eine bedeichte Insel, die wahrscheinlich damals im Norden noch umströmt werden konnte (19). Der spätere Gotteskoog, dessen nördlicher Deich 1553/56 und dessen südlicher

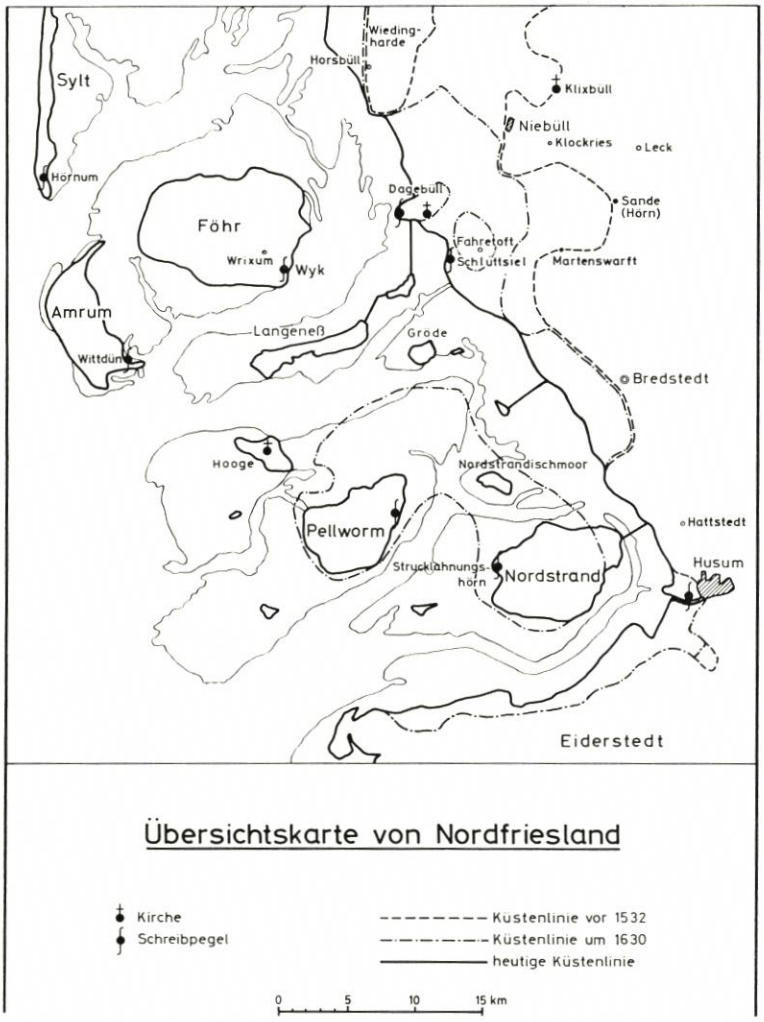


Abb. 9. Übersichtskarte von Nordfriesland

1562/66 gebaut wurde, wird um 1532 fast deichreifes Vorland gewesen sein, dem ein ausgedehntes Watt vorgelagert war, das von breiten Prielen durchzogen wurde und in dem Inseln und Halligen lagen. Wahrscheinlich hat man damals die Höhe bezeichnet, bis zu der das Wasser in der Kirche gestanden hat. Das Wasser ist durch die Kirchentüren eingedrungen, die an der Süd- und Nordseite lagen, also nicht unmittelbar in Windrichtung. Das Wasser dürfte daher draußen eher noch etwas höher gestanden haben als drinnen. Mit

Wellenauflauf braucht in der Kirche nicht gerechnet zu werden. Andererseits kann der Feuchtigkeitsrand nach einigen Tagen, als man den Farbstrich anbrachte, etwas höher gestiegen sein als ursprünglich, so daß dadurch der Unterschied zwischen dem Wasserstand in der Kirche und draußen ausgeglichen sein würde. Die Sturmflutmarke von 1532 in der Klixbüller Kirche gibt also, wenn man sie als originale Höhenangabe anerkennt, den Wasserstand des Gewässers vor der eigentlichen Festlandsküste wieder.

Die gleiche Aussage läßt sich für die Höhenmarke von 1634 nicht treffen. 1634 lag die Kirche Klixbüll bereits hinter dem voll eingedeichten Gotteskoog (Abb. 9). Dieser Koog wurde bei der Sturmflut überflutet, der Deich brach an mehreren Stellen. Durch die Überflutung des Gotteskooges dürfte der Sturmflutscheitel gekappt worden sein, so daß am Geestrand nicht die unbeeinflußte Scheitelhöhe des Gewässers eintreten konnte. Wenn 1634 der Gotteskoog nicht eingedeicht gewesen wäre, sondern die gleichen topographischen Verhältnisse vorgelegen hätten wie 1532, so wäre der Wasserstand in der Klixbüller Kirche höher eingetreten.

Die originalen Höhenmarken in der Klixbüller Kirche sind heute nicht mehr vorhanden. Die Klixbüller Kirche ist 1963 restauriert worden. Die beiden Seiteneingänge wurden zugemauert. Die Latte mit den Höhenmarken, die sich an der Nordwand befand (6), war völlig wurmstichig und ist beseitigt worden. Vorher hat man die beiden Höhenmarken auf die Südwand übertragen und als Farbstriche auf der Vermauerung des ehemaligen Südeinganges angebracht. Die Marke von 1532 liegt 105 cm, die von 1634 113 cm über dem Fußboden. Die Differenz beträgt also 8 cm, in (6) sind 5 cm als Differenz angegeben. Die von ECKERMANN (17) um 1890 eingemessenen Höhen sollen für die weiteren Untersuchungen als richtig angenommen werden, sie sind in Tabelle 3 eingetragen.

In (69) werden einige weitere Höhenmarken der Sturmflut vom 11. Oktober 1634 beschrieben. Eine Marke — ein Metallbolzen — befand sich in dem Stall eines Bauernhauses der Martenswarft, die auf dem schon im 15. Jahrhundert erbauten Deich des Langenhorner Alten Kooges liegt, etwa 15 km südlich von Klixbüll (Abb. 9). Leider ist der Stall vor einigen Jahren abgerissen worden und die Marke nicht mehr vorhanden. Die Höhenlage der Marke wurde um 1964 mit NN + 508 cm eingemessen. Diese Höhe ist reichlich groß, denn der Martenswarft sind die schon im 16. Jahrhundert eingedeichten Köge Störtewerker Koog und Waygaard Koog vorgelagert, die überflutet werden mußten, bevor das Wasser die Martenswarft erreichen konnte. Dadurch hätte eine Absenkung der Wasserstände eintreten müssen.

Etwa 8 km nordostwärts der Martenswarft wird für Hörn bei Sande (Abb. 9) der Sturmflutscheitel nach einer Marke mit NN + 496 cm angegeben (69). Das Haus, an dem sich die Marke befindet, liegt auf einem Geestvorsprung; es liegt weit im Hinterland, und ihm ist der Störtewerker Koog vorgelagert. Beim Umbau des Hauses hat man mit Hilfe einer Wasserwaage die Höhe der Marke auf einem Lichtmast vor dem Haus markiert und später auf das umgebaute Haus zurückvermessen. Für diese Höhe gilt dasselbe, was schon für die von der Martenswarft gesagt wurde, auch sie erscheint reichlich hoch. Hinzu kommt hier allerdings noch die Ungenauigkeit, mit der die Höhe überliefert worden ist.

Eine weitere Marke wird für Klockries genannt. In dem Hansenschen Haus befinden sich an einem Balken zwischen zwei waagerechten Strichen die Jahreszahl 1634 und die Buchstaben JB.NJ.BJ. Das Haus ist vor einigen Jahren abgebrochen und im Freilichtmuseum Kiel-Molfsee wieder aufgebaut worden. Dort ist auch die genannte Marke zu sehen. Wie PRANGE (69) ausführt, handelt es sich aber hier offenbar nicht um eine Wasserstandsmarke, sondern um ein Zeichen, das auf das Baujahr des Hauses 1634 (6) hinweist. Vielleicht war das alte Haus bei der Sturmflut zerstört worden? Die Höhenlage der genannten

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Marke war NN + 576 cm. Diese Höhe ist als Sturmflutscheitel innerhalb des überfluteten Kornkooges auszuschließen. Der Brunnen vor dem Hansenschen Hause in Klockries soll der einzige gewesen sein, der bei der Überschwemmung 1634 nicht voll Salzwasser gelaufen ist. Seine Oberkante wurde mit NN + 360 cm eingemessen (69), der Sturmflutscheitel müßte also dann darunter gelegen haben. Diese Höhe ist im Gegensatz zu den Höhenangaben von Klixbüll, Martenswarft und Hörn reichlich niedrig. Es ist allerdings möglich, daß der Deich des Kornkooges nur an wenigen Stellen gebrochen war und daher die Überflutungshöhe erheblich niedriger lag als außendeichs. Andererseits kann der Brunnenrand 1634 auch höher gelegen haben, als er jetzt festgestellt wurde.

Tabelle 2

Mittlere Wasserstände und Sturmflutscheitel aus jüngster Zeit an Pegeln in Nordfriesland (alle Höhen in cm bezogen auf PN = NN — 500 cm) unsichere Werte sind eingeklammert

Ort	1961/70			HThw	
	MThw	MTnw	MThb	1962 17. 2.	1976 3. 1.
Husum	654	318	336	1021	1061
Pellworm	635	347	288	950	974
Schlüttsiel	641	333	304	955	954
Strucklahnungshörn (Nordstrand)	637	320	317	970	(1006)
Wittdün (Amrum)	612	364	288	914	905
Wyk (Föhr)	617	353	264	931	938
Hooge	617	(350)	(267)	920	940
Dagebüll	622	346	276	956	962
Hörnum	586	394	192	892	864

Für die damalige Hallig Fahretoft gibt es einen Bericht über die Sturmflut 1634 von dem damals beim Deichbau beschäftigten holländischen Deichbauingenieur Jan Adriansz Leeghwater. Er schreibt, daß das Wasser „ungefähr 13 Fuß höher als das Maifeld des alten Landes" kam (49). Bei der Angabe 13 Fuß ist nicht klar, ob Hamburger oder dänisches Maß gemeint sind. 13 Fuß wären demnach 3,8 m oder 4,1 m. Die Höhe des Maifeldes ist etwas über MThw anzunehmen, dessen Höhe andererseits aber unbekannt ist. Wenn man die Ganglinie der übergreifenden 19jährigen Mittel des MThw für Dagebüll, die in Abb. 10 dargestellt ist, von 1825 um rund 200 Jahre rückwärts extrapoliert, indem man mit einer Neigung der Ausgleichsgeraden von 31 cm in 100 Jahren rechnet, was nach den Ausführungen weiter unten zulässig sein dürfte, ergibt sich als MThw für 1634 etwa NN + 15 cm. Die Höhe des Maifeldes soll 20 cm höher, mit NN + 35 cm angenommen werden. Legt man dann der Angabe von 13 Fuß das dänische Maß zugrunde, so lag der Sturmflutscheitel 1634 bei Fahretoft etwa auf NN + 445 cm (Tabelle 3). Hierbei handelt es sich um die Fluthöhe bei einer Hallig, die dem eingedeichten Festland vorgelagert war. Die Wasserstände im überfluteten, eingedeichten Land müssen niedriger liegen. Das wäre bei den genannten Höhenangaben für Klixbüll und Klockries zutreffend, jedoch nicht für Martenswarft und Hörn. Bei den beiden letzten Höhenmarken kann jedoch im Gegensatz zu Klixbüll ein erheblicher Wellenauflauf mit berücksichtigt worden sein. Prange (69) schreibt zwar, daß die Höhenmarke an der Martenswarft innerhalb des Stalles liegt, wo die Wasserstandshöhe nicht durch Wellenbewegung verfälscht sein kann. Es handelt sich aber, wie Prange auch schreibt, um ein Ständerhaus mit besonders dicken Balken. Es ist

durchaus möglich, daß die nichttragenden Außenwände durch die Wellen umgeworfen wurden und die Wellen durch das auf den freitragenden Ständern stehende Gebäude hindurchliefen. Die Marke wurde dann später nach dem Feuchtigkeitsstand an einem Ständer angebracht. Ähnlich kann es bei dem Haus von Hörn gewesen sein.

Nach den vorstehenden Ausführungen kann man als Sturmflutscheitel 1634 für den Bereich etwa um Dagebüll NN + 445 cm annehmen. Die Angabe ist jedoch wohl um 1 bis 3 dm unsicher. Zwar ist die Angabe von 13 Fuß über Maifeld glaubwürdig, jedoch ist ein Schätzfehler von 10 cm durchaus möglich. Die Höhe des Maifeldes zu MThw beruht auf einer Annahme. Wenn die rückwärtige geradlinige Extrapolation 200 Jahre beim MThw auch im Prinzip zulässig ist, wie die Untersuchungen im Kapitel 3 zeigen werden, so ist hierbei natürlich auch eine Ungenauigkeit im Dezimeterbereich möglich. Leider läßt eine andere Wasserstandsangabe von A. LEEGHWATER keine genauere Abschätzung zu. Nach seinem Bericht (49) soll das Wasser in der Kirche von Dagebüll 4½ Fuß hoch gestanden haben. Die damalige Kirche wurde aber 1731 abgerissen und neu gebaut (6), und man weiß nicht, wie dabei die Höhenlage des Fußbodens verändert wurde. Mehrfach wird in (63) und (19) für Nordfriesland erwähnt, daß einige Fluten des 18. Jahrhunderts ein bis zwei Fuß höher lagen oder dieselbe Höhe hatten wie die von 1634. Das ist nur möglich, wenn der Sturmflutscheitel 1634 in diesem Gebiet etwa um NN + 450 cm gelegen hat, nicht jedoch bei einer Höhenlage um NN + 500 cm, wie sie PRANGE (69) annimmt. Nirgends wird erwähnt, daß die Flut von 1634 in Nordfriesland höher war als die schwersten Sturmfluten der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts. Für Ribe (Ripen in Nordschleswig) sind nach (69) für 1634 mehrere Höhen überliefert, die sogar NN + 600 cm und NN + 596 cm betragen. Nach einer anderen in (69) zitierten Quelle ergibt sich die Höhe zu NN + 491 cm. Die Angaben für Ribe sind also sehr unsicher, immerhin wäre die Höhe von NN + 491 cm möglich, denn die Flut kann nördlich von Nordfriesland, an der jütländischen Küste, etwas höher aufgelaufen sein.

Für die Sturmfluten des 18. Jahrhunderts und bis 1825 sollen die überlieferten Höhenangaben, die dem Werk von MÜLLER und FISCHER entnommen sind, im folgenden zusammengestellt werden: In Nordstrandischmoor standen 1717 im Hause des Ratmannes H. HANSEN 2 Fuß Wasser. Die Scheitelhöhe in Nordstrandischmoor wird 1717 20′, 1751 20′ 2″, 1756 20′ 5″ und 1792 20′ 6″ hoch angegeben. Diese Höhen werden sich wahrscheinlich auf gewöhnliches Niedrigwasser beziehen. Damit ist eine Relation der Sturmflutscheitel zueinander gegeben. Die Flut von 1751 lag 4 bis 5 cm, die von 1756 12 bis 13 cm und die von 1792 14 bis 16 cm über der von 1717. Die unterschiedlichen Angaben für 1751, 1756 und 1792 ergeben sich dadurch, daß entweder Hamburger oder dänisches Fußmaß gemeint sein kann. Für 1825 wird 21′ 11″ als Scheitelhöhe angegeben, also 1′ 11″ (55 cm oder 62 cm) höher als 1717. Da es sich um Wasserstände bei einer unbedeichten Hallig handelt, sind diese Angaben besonders wertvoll. Es kommt nur noch darauf an, die absolute Scheitelhöhe für 1717 oder 1825 zu ermitteln. Interpoliert man die Höhe des MThw von Nordstrandischmoor nach den Werten für Nordstrand und Dagebüll nach Tabelle 2, so liegt MThw von Nordstrandischmoor 11 cm höher als MThw von Dagebüll. MThw Dagebüll 1717 wurde aus Abb. 10 mit NN + 45 cm ermittelt. Damit ergibt sich MThw 1717 für Nordstrandischmoor zu NN + 56 cm. Nimmt man nun als Scheitelwert für 1717 13′ (Hamburger Maß) über MThw an (1′ weniger als in Husum), so lassen sich die Scheitelwerte der Sturmfluten von 1751, 1756, 1792 und 1825 ebenfalls angeben. Die so errechneten Sturmflutscheitel sind in Tabelle 3 eingetragen.

Der Sturmflutscheitel vom Februar 1718 wird für Nordstrand und Pellworm eine Elle (60 cm) niedriger angegeben als der von 1717. Für 1825 wird mitgeteilt, daß das

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Wasser 5,8 m oder 6,3 m über MThw war. Hierin ist allerdings der Wellenauflauf mit enthalten. Nach mehreren Ermittlungen wird MThw 1825 mit MThw + 3,73 m oder 3,50 m für Nordstrand angenommen. 1717 soll das Wasser in den Kögen in Pellworm 3 bis 4 Fuß hoch gestanden haben, an einer anderen Stelle ist von „2 Ellen hoch in manchen Häusern" die Rede. 1793 war Pellworm 9 bis 10 Fuß hoch überschwemmt, 1792 6 Fuß hoch. Da es sich hier aber um Überflutungshöhen von Kögen handelt, können die Angaben nicht als echte Sturmflutscheitelhöhen bewertet werden. Im November 1825 soll das Wasser

Tabelle 3

Scheitelhöhen sehr schwerer Sturmfluten in Nordfriesland. 1532 bis 1839
(alle Höhen in cm über NN)

Sturmflut	Wiedingharde	Klixbüll (a) Fahretoft (b)	Wyk/Föhr	Hooge	Nordstrandisch-moor	Pellworm	Husum
2. November 1532		a 416					
11. Oktober 1634		b 445					452?
	395			431			473
25. Dezember 1717	oder			oder	428		oder
	430			434			509
				431	433		
11. September 1751				oder	oder		
				434	434		
				431	440		
7. Oktober 1756				oder	oder		
				434	441		
22. März 1791							466
					442		
11. Dezember 1792					oder	347	
					444		
1. Dezember 1821			377				
				474	483		
4. Februar 1825			448	oder	oder	462	509
				481	490		
27. November 1825						424	
8. Januar 1839						405	494

in Pellworm 1 bis 1½ Fuß niedriger gewesen sein als im Februar 1825, im Februar jedoch 4 Fuß höher als 1792. Die Flut von 1806 war 2 Fuß höher als die von 1756. Der Sturmflutscheitel vom 8. 1. 1839 wird 11 Fuß hoch oder 2 Fuß unter dem von 1825 angegeben, der demnach 13 Fuß über MThw gelegen hätte. An einer anderen Stelle wird der Sturmflutscheitel mit 377 cm über GHW angegeben, das sind 5 cm mehr als 13 Hamburger Fuß. Diese Angaben aus dem Beginn des 19. Jahrhunderts sind besonders interessant, weil 1803 ein Pegel am Hafen von Pellworm eingerichtet und an ihm die Höhe der ordinären Flut bestimmt wurde, (19) und (87). Der Pegel könnte um 1825 noch bestanden haben. Nimmt man nach Tabelle 2 an, daß MThw in Pellworm damals wie heute 19 cm unter dem von Husum lag, so lassen sich die Höhen für einige der genannten Fluten errechnen. Es wird

Hamburger Fußmaß angenommen. Die so ermittelten Sturmflutwerte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

In Föhr stand 1717 das Wasser 4 Ellen über den Landflächen und 2 bis 3 Fuß in den Wohnungen, 1720 stand es 2 Fuß höher als 1717. An einem Haus in Wrixum (Föhr) waren an einem Pfahl die Überflutungshöhen von 1717 und 1720 angegeben. Danach war das Wasser 1720 einen Fuß höher als 1717; 1825 war es ebenso hoch wie 1717. Auch diese Überflutungshöhen lassen sich nicht zur Ermittlung der Sturmflutscheitelhöhen verwenden. Im Dezember 1821 soll im Wyker Hafen das Wasser 10′ 8″ Hamburger Maß über GHW gewesen sein, 1825 12 dänische Fuß hoch. Nimmt man hier für MThw (= GHW) den extrapolierten Wert von Dagebüll, vermindert um 5 cm nach Tabelle 2, an, so erhält man dafür NN + 71 cm. Der Sturmflutscheitel 1825 lag dann auf NN + 478 cm und 1821 auf NN + 327 cm.

Bei der Wiedingharde lag der Scheitel der Flut von 1717 12½ Fuß über ordinärer Flut, und 1756 stand das Wasser eine Elle unter dem Kamm des Deiches der Wiedingharde. Da die Sturmflut von 1756 in den meisten Orten höher war als 1717 und noch unter dem Kamm des Deiches stand, kann vermutet werden, daß es sich bei der Höhenangabe von 12½ Fuß für 1717 nicht um eine Überflutungshöhe des Kooges, sondern um eine Scheitelhöhe vor dem Deich handelt. Extrapoliert man für Dagebüll nach Abb. 10 MThw auf 1717 zurück, so ergibt sich MThw 1717 zu NN + 0,45 m. Reduziert man diesen Wert um rund 10 cm wegen der nördlicheren Lage der Wiedingharde, so ergibt sich der Sturmflutscheitel der Weihnachtsflut zu etwa NN + 395 cm (Hamburger Maß) oder NN + 430 cm (dänisches Maß). Am Ockholmer und Hattstedter Deich soll 1791 das Wasser nicht ganz so hoch gewesen sein wie 1756.

Für Hooge wird in den Schleswig Holsteinischen Provinzialberichten von 1825 mitgeteilt, daß in der Kirche 1717 das Wasser 1 Fuß hoch gestanden habe, 1825 dagegen 2½ Fuß hoch. Auch diese Angaben sind sehr wertvoll, denn Hooge war eine unbedeichte Hallig, und der genannte Wasserstand bezieht sich demnach auf den echten Sturmflutscheitel. Die Höhe wird nach der Sturmflut an Hand der Feuchtigkeit an der Innenwand der Kirche festgestellt worden sein. Mit Wellen braucht hier nicht gerechnet zu werden. Außerhalb der Kirche kann der Wasserstand etwas höher gewesen sein, andererseits kann die Feuchtigkeit an der Wand im Innern der Kirche etwas hochgestiegen sein. Auf Bitten des Verfassers hat das Amt für Land- und Wasserwirtschaft Husum die Höhe des Kirchenfußbodens eingemessen, er liegt auf NN + 402,5 cm. Die Kirche wurde 1637 gebaut, bei der Sturmflut 1825 wurde sie beschädigt, ihre Westmauer mußte neu gebaut werden (6). Über eine eventuelle Veränderung der Höhenlage des Kirchenfußbodens finden sich in (6) keine Angaben. Auch in neuerer Zeit sind nach Auskunft des Landesamtes für Denkmalspflege, Kiel, und des amtierenden Pastors in Hooge[13]) keine Veränderungen vorgenommen worden. Man kann vielmehr davon ausgehen, daß der Kirchenfußboden heute noch auf derselben Höhe liegt wie 1717 und 1825[13]) und daß man die in den Provizialberichten genannten Höhenangaben auf die heutige Fußbodenhöhe beziehen kann. Der Sturmflutscheitel 1717 lag demnach 28,7 cm (Hamburger Maß) oder 31,4 cm (dänisches Maß), 1825 72 cm (Hamburger Maß) oder 78 cm (dänisches Maß) über NN + 402,5 cm. Nach (63) soll 1751 und 1756 das Wasser ebenfalls 1 Fuß in der Kirche gestanden haben.

Die sich aus den genannten Angaben ergebenden Scheitelhöhen sind in Tabelle 3 eingetragen. Sie sind eher zu hoch als zu niedrig, denn wenn doch eine Veränderung der Fußbodenlage seit 1717 vorgenommen worden sein sollte, so dürfte es sich eher um eine geringe

---

[13]) Schreiben von Pastor B. Speck, Hooge, vom 22. 3. 1976 an den Verfasser.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Aufhöhung als um ein Tieferlegen gehandelt haben. In diesem Zusammenhang verdient erwähnt zu werden, daß am 3. 1. 1976 das Wasser nach einem am 4. 1. 76 geschriebenen Bericht des Hooger Pastors B. SPECK (99) 40 cm in der Kirche stand; der Hooger Pegel zeigte NN + 440 cm. Diese gute Übereinstimmung zwischen dem Wasserstand in der Kirche – gemessen nach der Höhenlage des Fußbodens – und dem am Pegel beobachteten spricht dafür, daß man auch für 1717 und 1825 den Wasserstand in der Kirche als den wahren Wasserstand für Hooge ansetzen kann. In (89) wird der Sturmflutscheitel 1825 mit NN + 494 cm angegeben, der Scheitel von 1717 hätte 1½ Fuß tiefer gelegen, also auf NN + 451 cm (Hamburger Maß) oder NN + 447 cm (dänisches Maß), im Mittel auf NN + 449 cm. Die Werte NN + 494 cm und NN + 449 cm sind in (87) übernommen worden. Die auf Grund der Fußbodenhöhe ermittelten Werte sind aber eher zutreffend. Die in (89) angegebenen Höhen für 1825 ergeben sich aus einem Aktenstück aus dem Hooger Kirchenarchiv vom 26. 4. 1867, wonach die Sturmflut 1825 20 Fuß über GHW gelegen haben soll. SCHELLING nimmt den Wellenauflauf mit 7 Fuß an und GHW 1825 auf NN + 86 cm. Beide Annahmen sind jedoch nicht exakt zu belegen.

Für Husum gibt es für die Sturmfluten des 18. Jahrhunderts und am Anfang des 19. Jahrhunderts zahlreiche Angaben über die Scheitelhöhen; ihr Bezug zu NN ist aber verhältnismäßig unsicher. Wie in (86) ausgeführt, hat es Anfang des 19. Jahrhunderts in Husum noch keinen Pegel gegeben. Die Höhenangaben für den Sturmflutscheitel von 1825 sind auf „gewöhnliches Hochwasser" (GHW) oder „ordinäre Flut" bezogen, die man etwa mit MThw gleichsetzen kann. In (2) wird der Sturmflutscheitel 1825 mit 14 Fuß über ordinärer Flut angegeben, das sind nach Hamburger Maß rund 4 m. Es ist nicht anzunehmen, daß dänisches Maß gemeint ist, denn das wären 439 cm über GHW, ein Wert, der im Vergleich mit den Scheitelwerten dieser Sturmflut an anderen Orten der deutschen Nordseeküste sehr unwahrscheinlich ist. So wird auch nach den in (89) zitierten Überlegungen von FISCHER, (63) und (19), der Scheitelwert von 1825 mit 4 m über GHW angenommen.

Die Höhe der ordinären Flut dürfte damals sicher sehr genau bekannt gewesen sein, ihre Lage zu NN wird aber sehr unterschiedlich angegeben (89). Legt man die Ganglinie der übergreifenden 19jährigen Mittel für Husum zugrunde (Abb. 10) und extrapoliert rückwärts bis 1825, so ergibt sich NN + 109 cm. In (89) werden für MThw 1825 für Husum Werte zwischen NN + 106 cm und 123 cm angegeben, der Sturmflutscheitel von Februar 1825 zwischen NN + 483 cm und NN + 549 cm. Nimmt man als MThw 1825 NN + 109 cm als richtig an, so lag der Sturmflutscheitel 1825 auf NN + 509 cm, wenn man 400 cm über MThw zugrunde legt, oder auf NN + 486 cm, wenn man den 1911/16 vom Wasserbauamt Husum für 1825 ermittelten Wert von 377 cm über MThw annimmt. NN + 509 cm ist aber wohl der wahrscheinlichste Wert. 377 cm über MThw wird für 1825 in (63) für Pellworm angegeben. Der Windstau in Husum ist bei sehr schweren Sturmfluten meistens größer als in Pellworm, dessen Pegel an der Ostseite der Insel liegt. In (2) wird noch mitgeteilt, daß die Sturmflut 1791 1½ Fuß niedriger war als 1825 (43 cm nach Hamburger Maß). Nach (86) hat der Deichinspector SALCHOW eine Sturmflutmarke von 1825 gekannt, sie ist aber nicht mehr vorhanden, und ihre Höhe zu NN ist unbekannt. Der Scheitel der Flut von 1839 soll ½ Fuß unter dem von 1825 gelegen haben (rund 15 cm). Auch eine Sturmflutmarke von 1703, die in (74) erwähnt wird, ist nicht mehr vorhanden. Mehrfach findet sich die Angabe, daß 1717, 1718 und 1720 die Sturmflutscheitel in Husum ebenso hoch gewesen sind wie 1825. Dabei ist nicht klar, ob gemeint ist, daß die Scheitel der drei Sturmfluten des 18. Jahrhunderts absolut auf derselben Höhe lagen wie der Scheitel von 1825, also wahrscheinlich auf NN + 509 cm, oder ob sie auch 14 Fuß (400 cm) über

Die Küste, 30 (1977), 52-143

dem MThw von 1717 lagen. Nimmt man nach (75) und Abb. 10 einen säkularen Wasserstandsanstieg von rund 34 cm im Jahrhundert an, so würde MThw 1717 auf NN + 73 cm und der Sturmflutscheitel 1717 auf NN + 473 cm gelegen haben. Die für Husum ermittelten Höhenangaben sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Wie schon im Abschnitt 2.7 erwähnt, soll nach (105) 1634 der Wasserstand in Husum 2 bis 3 Fuß unter dem von 1717 gelegen haben (57 cm (2′ Hbg.) bis 95 cm (3′ dän.)). Diese Angabe ist nur sinnvoll, wenn man als Scheitel für 1717 NN + 509 cm annimmt. Aber auch dann liegt – selbst wenn man nur 2′ Hamburger Maß als Differenz ansetzt – die Scheitelhöhe für 1634 nach Abb. 14g verhältnismäßig niedrig.

Allen in Tabelle 3 angegebenen Werten haften einige Unsicherheiten an, sie dürfen nicht als absolut richtig angesehen werden. Abgesehen davon, daß die Überlieferung der Angaben selbst unsicher ist, so ist auch die Ermittlung der Bezugshöhe, des zeitgenössischen MThw, unsicher, da sie auf rückwärtiger Extrapolation von Mittelwerten der Wasserstände, z. T. sogar nur von benachbarten Pegeln, beruht. Zudem ist nicht immer bekannt, welches Fußmaß angenommen werden muß (Hamburger: 1′ = 28,66 cm, dänisches: 1′ = 31,39 cm). Da diese Unsicherheiten aber für alle Werte gleichermaßen gelten, dürften sie doch untereinander vergleichbar sein. Betrachtet man die in Tabelle 3 zusammengestellten Werte für ein und dieselbe Sturmflut aber für verschiedene Orte, so ist die Relation zueinander recht einleuchtend. 1717 war der Scheitel in Husum am höchsten (enger Trichter, unmittelbar an der Festlandküste), bei der Wiedingharde (395 cm) am niedrigsten, in Nordstrandischmoor und Hooge war er etwa gleich hoch und lag in der Höhe zwischen Husum und Wiedingharde. 1825 war der Scheitel auch in Husum am höchsten, in Nordstrandischmoor etwas höher als in Hooge. In Pellworm lag der Scheitel niedriger, der Wasserstand wurde wohl an der Ostseite der Insel gemessen. Am niedrigsten war der Sturmflutscheitel in Wyk.

3. Der säkulare Wasserstandsanstieg

In diesem Kapitel soll der Versuch gemacht werden, die säkulare Änderung der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste, wie sie sich aus den Beobachtungen von Wasserständen ergibt, soweit wie möglich rückwärts zu verfolgen. Dabei ist es zweckmäßig, diese Änderung in einem großen zeitlichen und örtlichen Rahmen zu sehen. Es kann jedoch nicht das Ziel der vorliegenden Arbeit sein, die Wasserstandsentwicklung generell und speziell die Wasserstandsänderung an der deutschen Nordseeküste seit dem Pleistozän im einzelnen nachzuzeichnen. Vielmehr soll darüber im Abschnitt 3.1 nur ein allgemeiner Überblick gegeben werden. Es soll dabei aber auch in kurzen Zügen dargestellt werden, wie sich die Anschauungen im Laufe der letzten 100 Jahre entwickelt und gewandelt haben und wie zur Zeit die vorherrschende Meinung ist. Diese Darstellungen beruhen nicht auf eigenen Forschungen des Verfassers, sondern lediglich auf einer Auswertung der Literatur. Diese Literaturauswertung ist jedoch in keiner Weise vollständig, die Literatur zu dem Thema „Wasserstandsänderung seit dem Pleistozän" ist außerordentlich umfangreich. Die Ausführungen können sich daher nur auf einige wichtige, möglichst umfassende Arbeiten stützen, die ihrerseits wieder auf umfangreichem Quellenmaterial beruhen. Eine kritische Würdigung der verwendeten Arbeiten im einzelnen ist hier nicht beabsichtigt. In den folgenden Abschnitten 3.2 bis 3.4 soll die säkulare Wasserstandsänderung an der deutschen Nordseeküste geschildert werden, wie sie sich aus den unmittelbaren Wasserstandsbeob-

Die Küste, 30 (1977), 52-143

achtungen in den jüngsten Jahrhunderten ergibt. Dabei soll der Versuch gemacht werden, die Änderungen im einzelnen zu deuten.

3.1 Der Wasserstandsanstieg seit der Weichseleiszeit

In (28) wird auf das weltweite Ansteigen und Sinken der Küsten eingegangen. Als sicherstes Mittel, um festzustellen, ob eine Küste sich hebt oder senkt, wird die Beobachtung von Wasserstandsmarken angesehen. An anstehenden Felsen sollte der mittlere Wasserstand eines Jahres markiert werden. Durch Vergleiche mit später angebrachten Marken kann man dann feststellen, ob die Küste sinkt oder steigt. Auf diese Weise ist bereits im 19. Jahrhundert die schon von A. Celsius 1743 erkannte Hebung der norwegischen und schwedischen Küsten nachgewiesen worden (28). Es ist eigentlich erstaunlich, daß in dem genannten Buch diese Angaben nicht in erster Linie mit Pegelbeobachtungen in Verbindung gebracht werden, die doch damals schon an vielen Orten der deutschen Küste seit einigen Jahrzehnten ausgeführt wurden. Bei der Betrachtung der deutschen Ostseeküste werden zwar Pegelaufzeichnungen erwähnt, es wird aber gesagt:

> „Pegelaufzeichnungen eignen sich überhaupt nur wenig zur Benutzung für solche Untersuchungen, da es oft schwierig ist, sich über die unveränderte Höhe der Pegel Gewißheit zu verschaffen und außerdem überall Einflüsse der verschiedensten Art das Resultat beeinflussen können."

Aus verschiedenen Indizien schließt Hahn (28) auf eine allgemeine Senkung der dänischen, deutschen, niederländischen und englischen Nordseeküste. Als solche Indizien sind anzusehen:

1. die trichterförmigen Mündungen der in die Nordsee mündenden Ströme,
2. das Vorkommen unterseeischer Wälder und Torfmoore,
3. die Verringerung der Größe der Insel Helgoland,
4. die Zunahme der Flächen in Ostfriesland, die künstlich entwässert werden müssen.

Der Gedanke, daß hier auch ein Anstieg des Meeres vorliegen könnte, wird überhaupt nicht geäußert. Man sah den mittleren Wasserstand des Ozeans als eine Konstante an und erklärte die Wasserstandsänderungen allein mit Veränderungen der Höhenlage der Küsten, „da wir in dem unveränderlichen Niveau des Meeres einen geeigneten Maßstab zur Bestimmung der senkrechten Schwankungen des Festlandes besitzen" (28). Diese Ansicht hat sich fast bis zur Mitte dieses Jahrhunderts gehalten, obwohl schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts der Gedanke auftauchte, den Wasserstandsanstieg im Zusammenhang mit dem Rückgang der Vereisung am Ende des Pleistozäns zu sehen.[14]) 1903 begann Schütte mit seinen Arbeiten im Weser-Jade-Gebiet. Das Ergebnis seiner 30jährigen Forschungen hat er in (91) veröffentlicht. Er bringt dort eine Darstellung der „Höhenlage der mittleren Hochwasser in den letzten 10 000 Jahren in der Jade-Weser-Bucht". Schütte ermittelt eine Wasserstandsänderung innerhalb von 10 000 Jahren von insgesamt 21,6 m, die er auf Senkung der Küste zurückführt. Die Senkung hat sich in vier Perioden vollzogen, die von drei Hebungsperioden unterbrochen sind. Zur Zeit liegt eine Senkungsperiode vor, die etwa

---

[14]) „1842 hat Maclaren bereits auf den Zusammenhang zwischen den Eisvorräten und dem Stand des Meeresspiegels hingewiesen (Amer. J. Sci. and Arts, 42). Die Arbeit wurde damals jedoch kaum beachtet, da die Eiszeithypothese erst viel später allgemein anerkannt worden ist. Daher gilt Daly, (9) und (10), als eigentlicher Schöpfer der Glazialeustasie-Hypothese". Die vorstehenden Angaben verdankt der Verfasser einer freundlichen Mitteilung von Herrn Dr. Menke, Kiel, vom 12. 4. 1976.

um Christi Geburt begonnen hat. Die Absenkung beträgt seitdem etwa 25 cm im Jahrhundert. Diese aus geologischen und archäologischen Untersuchungen abgeleiteten Ergebnisse sieht SCHÜTTE durch den allmählichen Anstieg des MThw am Pegel Wilhelmshaven seit Beginn dessen regelmäßiger Beobachtung im Jahre 1854 für die derzeitige Senkungsperiode bestätigt. Als Ursache für die Küstensenkungen und -hebungen nimmt SCHÜTTE eine großräumige „Schollenbewegung" an, die vielleicht auf das „Bestreben der Erde, ihr inneres Gleichgewicht zu erhalten, durch das Verschieben des Magmas (zähflüssige Gesteinsmassen)" zurückzuführen ist. Ursache für dieses Verschieben des Magmas könnte die Entlastung der Scholle durch das Abschmelzen des Inlandeises der letzten Eiszeit gewesen sein. Der Gedanke, daß statt der Absenkung der Nordseeküste ein entsprechender Anstieg des Meeresspiegels als Folge des Abschmelzens des Inlandeises nach der letzten Glazialzeit stattgefunden haben könnte, wird in (91) nicht diskutiert.

Wie früher schon F. MÜLLER in (62) Bd. 1 stellt JACOBY in (38) einen großen Teil der Literatur über die Senkung der deutschen Nord- und Ostseeküste zusammen und versucht eine kritische Wertung. Inbesondere diskutiert er die unterschiedlichen Ansichten, und er stellt die verschiedenen Möglichkeiten zusammen, die zu relativen Veränderungen zwischen den Küsten und dem Meeresspiegel führen können. Als Höhenverluste werden angegeben: Substanzverluste des Untergrundes der Marsch, Höhenverluste der Marsch selbst durch „Abnagen ihrer Oberfläche durch Eis und Wellen", Austrocknung des Marschkleis, Auslaugung und Ausspülung sowie Zusammenpressung durch Belastung. Es werden auch verschiedene Möglichkeiten der echten Wasserstandshebung an der Nordseeküste genannt: Aufstau der Tidewelle durch Bedeichung, Änderung der Tidebewegung infolge des Durchbruchs des Ärmelkanals und Vertiefung der Stromrinnen. Pegelbeobachtungen als Beweis für eine säkulare Änderung der Wasserstände werden sehr skeptisch beurteilt. Insbesondere werden Lattenpegelablesungen als zu unsicher angesehen. Es wird auch der Anstieg des Wassers als Folge des Abschmelzens des Inlandeises erwähnt: „Allerdings haben Geographen berechnet, daß durch das Schmelzen der dicken Eisdecke aus der letzten Eiszeit sich der Weltmeerspiegel um 60 m gehoben haben muß." Dieser Vorgang wird aber nicht mehr im Zusammenhang mit den gegenwärtigen „Senkungen" und denen der letzten 4000 bis 6000 Jahre gesehen. Die Arbeiten von DALY, (9) und (10), waren JACOBY offenbar noch unbekannt. JACOBY kommt zu dem Schluß, daß zwar eine geotektonische Senkung nachgewiesen sei, daß aber „die mitspielenden, nach oben und unten wirkenden Kräfte und Vorgänge" bisher noch nicht klar zu erfassen sind und für ihren zahlenmäßigen Anteil wie für die Fortdauer bis heute ein zuverlässiger Nachweis noch nicht erbracht worden sei (38).

Innerhalb der nächsten 2 Jahrzehnte nach dem Erscheinen der Arbeiten von SCHÜTTE (91) und JACOBY (38) hat sich immer mehr die Auffassung durchgesetzt, daß die Wassermassen des geschmolzenen Eises der letzten „Eiszeit", des Weichsel- oder Würmglazials, zu einer Transgression des Meeres und damit zu einem Wasserstandsanstieg an der Küste geführt haben (14). DITTMER weist in (14) darauf hin, daß sich erst nach 1937 die Anschauungen von DALY (10) auch in Deutschland durchgesetzt haben, und er schildert auf Grund des ihm bekannten Materials ausführlich die nacheiszeitliche Entwicklung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Von etwa 6000 bis 4000 v. Chr. ist demnach der Wasserstand um etwa 25 m oder um rund 125 cm in 100 Jahren angestiegen, in den nächsten 2000 Jahren um rund 10 m oder 50 cm im Jahrhundert. Diese Angaben sind mehr als eine ungefähre Abschätzung zu verstehen und sollen keine Wasserstandsganglinie im einzelnen darstellen. Die großräumigen „Hebungsperioden", von denen nach SCHÜTTE die allgemeine „Küstensenkung" unterbrochen gewesen sein sollte, werden von DITTMER nicht bestätigt. An diese

Die Küste, 30 (1977), 52-143

„Flandrische oder Corbula-Transgression" schließt sich seit etwa Christi Geburt die Dünkirchener Transgression an mit einem Wasserstandsanstieg, der nach (14) nur noch 1 oder 2 m in nicht ganz 2000 Jahren oder etwa durchschnittlich 5 oder 10 cm im Jahrhundert betragen hat. Auch dieser Wasserstandsanstieg kann auf Grund der Höhenlage der Marschoberflächen aus verschiedenen Zeiten zueinander nicht auf einer Küstensenkung beruhen, sondern ist ein echter Wasserstandsanstieg. In Niederungsgebieten sind allerdings Sackungen des Untergrundes möglich. Als Ursache für den Wasserstandsanstieg nennt DITTMER die Veränderung der Gezeitenerscheinung, auch unter Einfluß der Tätigkeit des Menschen, sowie die Erwärmung der Nordpolargebiete.

Daß man allgemein für die deutsche Nordseeküste nicht von einer Küstensenkung sprechen kann, wurde bei der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee im Oktober 1959 in Bremen in aller Deutlichkeit herausgestellt, insbesondere durch die Beiträge von DITTMER (15), BANTELMANN (3) und GRONWALD (27). 1928 bis 1931 hat man ein erstes Nordseeküsten-Feinnivellement ausgeführt. Durch ein Wiederholungsnivellement in den Jahren 1949 bis 1959 sollte versucht werden, mit geodätischen Mitteln die Küstensenkung nachzuweisen. Bei Annahme einer Senkung von 25 cm in 100 Jahren nach SCHÜTTE (91) hätte sich in dem Wiederholungszeitraum des Nivellements eine Senkung von etwa 6 cm ergeben müssen. Derartige Senkungsbeträge wurden jedoch nicht gemessen. Es zeigten sich zwar nach Norden zunehmende negative Beträge bei den Höhenüberprüfungen bis zu etwa 2 cm, sie lagen aber „innerhalb oder nur wenig außerhalb der aus den beiden Messungen herrührenden Unsicherheiten" (27). Eine Senkung ist demnach feinmeßtechnisch bisher nicht nachweisbar gewesen.

In zahlreichen Arbeiten ist seit etwa 1940 der Wasserstandsanstieg der Meere behandelt worden. Die zeitliche Einordnung des in Bodenproben gefundenen organischen Materials beruht dabei auf Pollenanalysen und zunehmend auch auf der erst seit den 50iger Jahren wesentlich entwickelten Radiocarbonmethode. In (44) gibt JELGERSMA mehrere Kurven über den Meeresspiegelanstieg wieder, wie er von verschiedenen Autoren für unterschiedliche Küstengebiete der Erde ermittelt worden ist. Diese Kurven sind als Wasserstandsganglinien über eine Zeitspanne von 10 000 bis 12 000 Jahren anzusprechen. Die meisten derartigen Kurven zeigen einen sehr steilen Anstieg, der vor etwa 10 000 Jahren zwischen NN — 50 m und NN — 30 m beginnt und vor etwa 5000 bis 7000 Jahren merklich schwächer wird. Viele der Kurven zeigen in dem flacheren Steigungsast, der vor etwa 5000 Jahren überall beginnt, einen schwankenden Verlauf; die Wasserstandshebung wird von Perioden größerer und geringerer Wasserstandssenkungen unterbrochen. Einen derartigen Verlauf zeigt auch die von SINDOWSKI, (98) und (97), angegebene Kurve. Danach lag etwa 8000 v. Chr. der Wasserspiegel der Nordsee auf NN — 35 m. 3500 v. Chr. lag der Wasserspiegel auf NN — 4 m; der Anstieg betrug also im Durchschnitt 69 cm in 100 Jahren. 1000 v. Chr. war NN ± 0 m erreicht, dann folgte bis zur Zeitwende eine leichte Wasserspiegelsenkung. Um die Zeitwende wurde wieder NN ± 0 m erreicht. Der durchschnittliche Wasserstandsanstieg von 3500 v. Chr. bis heute, wie auch in der Zeit von Christi Geburt bis heute, beträgt nach dem Diagramm von SINDOWSKI rund 10 cm in 100 Jahren. SINDOWSKI sieht allerdings die gesamte Entwicklung vom Altholozän bis zur Gegenwart als flandrische Transgression an, die er in 5 vorchristliche und 5 nachchristliche Nordseevorstöße einteilt. Die Einteilung der letzten „Nordseevorstöße" nimmt er an Hand der aus den Chroniken und Zusammenstellungen (105) bekannten sehr schweren Sturmfluten vor. Dieser Darstellung kann nicht in vollem Umfange gefolgt werden!

Eine interessante Darstellung des weltweiten Meeresspiegelanstiegs wird in (92) gegeben. Bei 147 Proben, die aus zahlreichen Orten, verteilt über die ganze Erde, stammen, ist

Die Küste, 30 (1977), 52-143

eine Altersbestimmung nach der Radiocarbonmethode vorgenommen worden, und sie sind nach Zeit- und Tiefenlage in einem Diagramm angeordnet. Eine nach der Methode der kleinsten Quadrate errechnete Ausgleichskurve ergibt eine Lage des Meeresspiegels vor 10 000 Jahren 30 m unter Null und vor 5000 Jahren 8 m unter Null. Zeichnet man eine untere Begrenzungslinie der Proben ein, so ergibt sich die tiefste Lage des Wasserspiegels vor 10 000 Jahren etwa 50 m unter Null und vor 5000 Jahren etwa 12 m unter Null. Zwischen 5000 und 3000 Jahren vor heute wird die Steigung der Kurve deutlich flacher. Diese Darstellung gibt einen guten allgemeinen Überblick von der weltweiten Wasserstandsentwicklung seit 10 000 Jahren, sie mittelt gewissermaßen viele der in (44) angegebenen Kurven des Wasserstandsanstiegs. In einer anderen Darstellung wird die Entwicklung des Wasserstandes bis auf 27 000 Jahre zurückverfolgt. Demnach lag der tiefste Stand des Meeresspiegels vor etwa 26 000 Jahren 94 m unter Null. Auf einer Weltkarte ist angegeben, welche Gebiete damals nicht vom Meer bedeckt gewesen sind. Ein Meeresspiegelanstieg seit der Mitte des Weichselglazials von etwa 100 m wird auch von P. Woldstedt (zitiert in (44)) angenommen.

Die zuletzt erwähnte Darstellung des Wasserstandsanstiegs während der letzten 10 000 Jahre (92) kann nur einen allgemeinen Überblick geben. Für die Verhältnisse der deutschen Nordseeküste soll abschließend noch eine von Menke (59) angegebene Kurve des Wasserstandsanstiegs erwähnt werden. Sie beginnt im Jahre 6800 v. Chr. (zwischen 7000 und 6500 v. Chr.) mit einer Wasserspiegellage auf NN — 46 m, die an einer 1964 bei der Doggerbank gewonnenen Bohrprobe festgestellt wurde (5). Aus weiteren, zum Teil in Kombination von Radiocarbonmethode und Pollenanalyse untersuchten Proben ergibt sich bis zum Jahre 4700 v. Chr. ein fast geradliniger Wasserstandsanstieg bis auf NN — 6 m. Das ist ein Anstieg von 40 m in 2100 Jahren oder von 190 cm im Jahrhundert. Von diesem Zeitpunkt an verläuft die Wasserstandskurve wesentlich flacher. Der durchschnittliche Anstieg bis heute (NN + 1,50 m) ist nur noch 11 cm pro 100 Jahre. Für 1500 v. Chr. und 850 v. Chr. läßt sich aus der Lage von datierten Sedimenten ermitteln, daß MThw NN ± 0 m erreicht haben dürfte. Von 850 v. Chr. bis heute würde sich dann nur noch eine durchschnittliche Wasserstandshebung von 5,4 cm in 100 Jahren ergeben. In dem von Menke in dem Diagramm konstruierten mutmaßlichen Verlauf des Nordseewasserspiegels (MThw) sind von 5000 v. Chr. an mehrere Perioden des Rückganges des Wasserspiegels angenommen. Es wird versucht, die Wasserstandskurve anhand von Angaben über die Klimaentwicklung zu interpretieren (59).

Alle genannten Arbeiten stimmen darin überein, daß sie für das Altholozän einen starken Wasserstandsanstieg ermitteln, der dann allmählich schwächer wird und schließlich etwa ab 1500 v. Chr. in eine Kurve übergeht, die keine eindeutige Steigung mehr hat, sondern in einem Bereich von etwa ± 1 m schwankt. Der starke Wasserspiegelanstieg in dem ersten Zeitabschnitt bis etwa 5000 oder 4000 v. Chr. ist eine unmittelbare Folge des Abschmelzens des Inlandeises des Weichselglazials. Das Abschmelzen setzte bereits vor 25 000 bis 30 000 Jahren, (44) und (92), ein. Vor etwa 10 000 Jahren begann mit der Überflutung des Gebietes südlich der Doggerbank, mit der Flandrischen Transgression, das Holozän. Dem starken Anstieg durch den Zufluß des Schmelzwassers folgte dann bis etwa 1500 v. Chr. ein schwächerer Anstieg, der wahrscheinlich im wesentlichen die Folge einer allmählichen Erwärmung des Meeres und einer damit verbundenen Vergrößerung des Wasservolumens gewesen sein dürfte. Die dann bis heute zu verfolgenden Wasserstandsänderungen, säkulares Ansteigen wie Absinken, können wohl nicht mehr als Folge des Abschmelzens des Inlandeises des Weichselglazials angesehen werden. Wie oben erwähnt, hat in den letzten 3000 bis 4000 Jahren ein durchschnittlicher Wasserstandsanstieg

Die Küste, 30 (1977), 52-143

an der deutschen Nordseeküste stattgefunden, der zwischen 5 und 10 cm in 100 Jahren liegt, (59) und (98). Dieser durchschnittliche Anstieg ist wesentlich geringer als der, der durch exakte Pegelbeobachtungen an der Nordseeküste in den letzten 100 bis 200 Jahren festgestellt wurde, (53), (31), (75), (95) und (83). Die Wasserstandsänderung kann daher nicht gleichsinnig verlaufen sein, sondern es müssen Perioden unterschiedlicher Änderungstendenzen einander abgelöst haben. Es kann auch keine einheitliche Ursache für die säkularen Wasserstandsänderungen geben, vielmehr müssen mehrere, im einzelnen zeitlich veränderliche Faktoren wirksam sein.

Welche Faktoren für säkulare Wasserstandsänderungen in Frage kommen, wird von DIETRICH (13) dargestellt. Es werden dort insgesamt neun Effekte aufgeführt, und ihre mögliche Wirkung wird diskutiert. Die einzelnen Effekte werden unterteilt in solche, die sich aus dem System Ozean–Sonne/Mond, Ozean–feste Erde und Ozean–Atmosphäre ergeben. Zum System Ozean–Sonne/Mond gehört der Gezeiteneffekt. Zum System Ozean–feste Erde gehören die isostatischen, tektonischen und Sackungseffekte, Raumeffekt und Reibungseffekt. Dem System Ozean–Atmosphäre werden Luftdruckeffekt, dynamischer Effekt, Staueffekt, Dichteeffekt und eustatischer Effekt zugerechnet. Die Wirkungen der einzelnen Einflüsse sind von unterschiedlicher Größe, das Größenverhältnis der verschiedenen Faktoren zueinander kann sich außerdem im Laufe der Zeit ändern. Manche Faktoren waren schon in früheren geologischen Zeiten wirksam und so auch während des Weichselglazials und des Altholozäns. Sie wurden jedoch durch das Abschmelzen des Inlandeises – den eustatischen Effekt – und später durch den Temperaturanstieg des Meerwassers – den Dichteeffekt – überdeckt.

Nach den Untersuchungen von DIETRICH (13) gehören die Faktoren, die sich heute am stärksten auf die säkularen Wasserstandsänderungen auswirken, dem System Ozean–Atmosphäre an, dabei sind in erster Linie eustatischer Effekt, Dichteeffekt und Staueffekt maßgebend. Ihre Änderungen sind als Folge von Klimaschwankungen anzusehen, deren Folge dann letztlich die Wasserspiegeländerungen sind (58). Örtlich können darüber hinaus Faktoren aus dem System Ozean–feste Erde von größerer Bedeutung sein, insbesondere die isostatischen, tektonischen und Sackungseffekte. Nicht zu vernachlässigen sind auch die anthropogenen Einflüsse, ihre unmittelbare Wirkung ist besonders deutlich in den Tideflüssen zu spüren. Wieweit anthropogene Einflüsse im Laufe der Zeit Staueffekt, Dichteeffekt und eustatischen Effekt soweit beeinflussen können – z. B. Aufheizung und zusätzliche Versalzung der Randmeere, Abschmelzen von Gletschern, Veränderung der Sonneneinstrahlung durch Luftverunreinigung –, daß dadurch säkulare Wasserstandsänderungen bewirkt werden, mag hier dahingestellt bleiben. Für die Beurteilung zukünftiger Entwicklungen müssen eventuell auch Sackungseffekte berücksichtigt werden, die sich durch die Förderung von Erdöl und Erdgas aus dem Untergrund im Küstengebiet ergeben.

3.2 Der säkulare Anstieg der mittleren Tidewasserstände

Daß ein allmählicher Anstieg der Höhe der ordinären Flut an der Nordseeküste stattfand, war schon in früheren Jahrhunderten durch einfache Beobachtungen festzustellen, ohne daß es dazu exakter regelmäßiger Pegelbeobachtungen bedurft hätte. Der für die Deiche und Siele verantwortliche Baumeister oder Verbandsvorsteher merkte diese Tatsache unmittelbar durch die Beobachtung und Wartung der ihm anvertrauten Bauwerke. So findet sich für den Beginn des 19. Jahrhunderts in (63), Bd. 4, die Bemerkung, daß in

Pellworm „seit Anlage der neuen Deiche die ordinäre Flut 1 bis 1¼′ gestiegen" sei. Es wird aufgefallen sein, daß man immer wieder höhere Deiche (8) bauen mußte.

Exakte Angaben über die Veränderung der mittleren Tidewasserstände lassen sich jedoch erst durch langjährige, regelmäßige Pegelbeobachtungen und deren Auswertung gewinnen, wobei die Pegellatten höhenmäßig zu festen Punkten eingemessen sein müssen und diese Lage unverändert gehalten werden muß. Die ältesten, regelmäßig beobachteten Pegel, von denen heute noch Material vorhanden ist, bestanden in Cuxhaven und Hamburg. Diese Pegel wurden einige Jahrzehnte beobachtet und die Beobachtungen auch ausgewertet. Es findet sich aber nirgends eine Bemerkung, daß man damals bereits ein Ansteigen der Wasserstände aus den Pegelbeobachtungen erkannt hat. REINKE (71) nennt 1787 die Gründe, die ihn bewogen haben, den Pegel am Niederbaum in Hamburg einzurichten. Der Grund, aus den Pegelaufzeichnungen etwas über die langjährige Veränderung der Wasserstände zu erfahren, bestand für ihn offenbar nicht. Auch in der Mitte des 19. Jahrhunderts hat man anscheinend noch nicht daran gedacht, aus Pegelaufzeichnungen Schlüsse auf langjährige Wasserstandsentwicklungen zu ziehen. Man war eigentlich fast immer der Meinung, die Beobachtung der Tidewasserstände – oft nur sogar der Fluthöhe – brauche man nur über eine verhältnismäßig kurze Zeit auszuführen, um über die Tideverhältnisse des betreffenden Ortes genau Bescheid zu wissen (86). Man findet jedenfalls nirgends den Hinweis, daß man Pegelbeobachtungen für notwendig hält, um über langfristige Wasserstandsänderungen exakte Angaben zu erhalten.

Nun treten solche langfristigen Änderungen aus den Beobachtungen auch nicht unmittelbar klar zutage. Die maximalen Schwankungen des Thw an einem Ort betragen im Mittel innerhalb eines Jahres an der deutschen Nordseeküste etwa 3 bis 4 m. Die jährlichen MThw, also die arithmetischen Mittel aller innerhalb eines Jahres eingetretenen Thw an einem Pegel, differieren von Jahr zu Jahr bis zu maximal 30 oder 40 cm. Durch solche Schwankungen werden säkulare Änderungen der mittleren Wasserstände, die nur 20 bis 30 cm in 100 Jahren an der deutschen Nordseeküste betragen, weitgehend überdeckt. Sie können nur wahrgenommen werden, wenn man größere Zeiträume von mehreren Jahrzehnten, also mehr als einer Menschengeneration, betrachtet, und auch dann nur mit ausreichender Klarheit, wenn man langjährige übergreifende Mittelwerte bildet. Man hätte auf die Änderung der Höhe der ordinären Flut allerdings auch aus der gelegentlich notwendigen Änderung der Höhenlage der Pegelnullpunkte schließen können, z. B. als es sich 10 Jahre nach dem Bau der Nesserlander Schleuse in Emden zeigte, daß der zuerst gewählte Pegelnullpunkt nicht mehr mit der ordinären Fluthöhe übereinstimmte und man deshalb bei Einrichtung eines neuen Pegels dessen Nullpunkt höher legte (Abschnitt 2.2). Es ist nicht bekannt, ob man damals hierin ein Indiz für eine langfristige Veränderung des MThw gesehen hat. Wie oben schon gesagt, muß jedoch einigen Menschen an der Nordseeküste aus der Beobachtung von Bauwerken bekannt gewesen sein, daß langfristig ein Anstieg des MThw oder eine entsprechende Senkung des Landes erfolgte.

Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, war man noch bis fast zur Mitte dieses Jahrhunderts vielfach der Meinung, die Veränderung der Wasserstände an der deutschen Küste beruhe auf einer Küstensenkung, und bedeutende Arbeiten, in denen die Veränderung der Wasserstände aus langjährigen Pegelbeobachtungen ermittelt wird, sprechen auch noch von der Küstensenkung, (72) und (31). Erst seit dem Ende der 50er Jahre hat man die Wasserstandsänderungen der letzten Jahrzehnte als einen echten Anstieg allgemein anerkannt, (27) und (15). Für die Ermittlung der absoluten Beträge der Wasserstandsänderung in ihrer zeitlichen Abhängigkeit ist diese Erkenntnis zunächst ohne Bedeutung. Das Beobachtungsergebnis und die Folgerungen für den Küstenschutz sind dieselben, ob es sich

Die Küste, 30 (1977), 52-143

um ein Heben des Wasserspiegels oder um ein Sinken der Küste bei konstantem Wasserspiegel handelt. Es hat sich inzwischen als zweckmäßig erwiesen, für langfristige Beobachtungen der Wasserstandsänderungen übergreifende 19jährige Mittel zu verwenden. Solche 19jährigen Mittel sind erstmals von LENTZ (50) verwendet worden, um den Einfluß der schwankenden Monddeklination auf die Tidegröße auszuschalten (31). Derartige Ganglinien erweisen sich aber auch als gute Indikatoren, um die Auswirkung von Wasserbaumaßnahmen bei Tideflüssen zu erkennen.

Es ist hier an der Zeit, etwas über die Verwendung von Pegelaufzeichnungen für das Erkennen langfristiger Wasserstandsänderungen zu sagen. Wie im vorigen Abschnitt ausgeführt wurde, standen sowohl HAHN (28) als auch noch JACOBY (38) den Pegelaufzeichnungen sehr skeptisch gegenüber. Besonders die Ablesungen von Lattenpegeln wurden für zu ungenau gehalten. Es ist natürlich richtig, daß bei stärkerer Wellenbewegung das Ablesen einer Pegellatte nicht einfach ist und einiger Übung bedarf. Die Pegelbeobachter waren aber viele Jahre tätig und hatten diese Übung. Beim Ablesen einer Pegellatte bei bewegtem Wasser werden sowohl zu niedrige als auch zu hohe Werte beobachtet. Bei insgesamt im Mittel 705 Beobachtungen des Thw im Jahr – wenn nur am Tage beobachtet wurde, waren es entsprechend etwa 365 Werte – dürften die Fehlbeobachtungen sich weitgehend ausgleichen. Bei der Bildung von Jahresmittelwerten sind solche Fehlbeobachtungen ohne Bedeutung, und das gilt besonders bei 19jährigen Mitteln. In jeden 19jährigen Mittelwert sind die Ergebnisse von jeweils 13 400 bzw. 6700 Einzelbeobachtungen eingegangen. Seit Schreibpegel in Betrieb sind, sind unmittelbare Fehlablesungen nicht möglich, obwohl es manchmal auch schwierig ist, aus einer sehr unruhigen Tidekurve Thw und Tnw zu bestimmen. Für den Ausgleich der Fehler gilt hier aber das gleiche wie für die Lattenablesungen. Man hat sehr früh Vorschriften aufgestellt, wie Pegel zu beobachten und die Beobachtungen auszuwerten sind (86). Mit großer Sorgfalt hat man die Pegelnullpunkte zu Festpunkten festgelegt, ihre Lage überwacht und die Wasserstandsbeobachtungen ausgeführt. Das gilt nicht erst für die letzten Jahrzehnte, sondern schon vom Beginn des Pegelwesens in Deutschland an (86). Sicherlich bestehen bei der nachträglichen Festlegung der Pegelnullpunkte zu NN Schwierigkeiten; für die wichtigsten Pegel ist die Lage des Nullpunktes in den verschiedenen Zeitabschnitten aber mit recht guter Genauigkeit bekannt, und es konnten Berichtigungen der Beobachtungswerte vorgenommen werden. Daher erkannte u. a. schon RIETSCHEL langjährige Pegelbeobachtungen als geeignetes Mittel für das Erkennen der säkularen Veränderungen des Meeresspiegels an (72). Er verwendete, wie auch schon vor ihm MEISSNER (119), für seine Untersuchungen, die er für die Nordseepegel Husum, Tönning, Cuxhaven, Bremerhaven, Wesermünde, Wilhelmshaven und die Ostseepegel Kolberg und Swinemünde ausführte, 5jährige Mittelwerte, während LÜDERS (53) und HENSEN (31) die Wasserstandsänderungen in 19jährigen übergreifenden Mittelwerten darstellten.[15]) Daß sich an allen deutschen Nordseepegeln ähnliche Änderungstendenzen zeigen und sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Pegeln aus unterschiedlichen hydrologischen und örtlichen Gegebenheiten erklären lassen, spricht auch für den Wert der Pegelaufzeichnungen für den hier genannten Zweck. Die in (28) und (38) zum Ausdruck gebrachten grundsätzlichen Bedenken gegen die Verwendung von Pegelaufzeichnungen sind sicherlich unberechtigt.

In tidefreien Meeren werden längerjährige Mittel der jährlichen MW gebildet, wie

---

[15]) Die Untersuchungen von LÜDERS sind durch eine unveröffentlichte Arbeit von Dr. HESSEN (1926) angeregt worden, worin schon 19jährige übergreifende Mittel verwendet wurden (mündl. Mitteilung von Herrn Dr. LÜDERS an den Verfasser).

z. B. in (119), (72), (23) und (24) für einige Ostseepegel, um Änderungstendenzen zu erkennen. Für Kolberg und Swinemünde zeigt die Ganglinie der 5jährigen MW nach (72) ab 1841 einen ziemlich gleichmäßigen Anstieg, der für Kolberg mit 15 cm in 100 Jahren (1817 bis 1929) und Swinemünde mit 11 cm in 100 Jahren (1811 bis 1929) angegeben wird. MEISSNER (119) macht darauf aufmerksam, daß die Ganglinien der übergreifenden 5jährigen Mittel (= Lustren-Mittel) zwar seit 1856 ansteigen, sich aber sowohl bei den von ihm untersuchten Ostseepegeln Travemünde, Swinemünde und Kolberg wie auch bei den MThw der Nordseepegel Wilhelmshaven und Cuxhaven starke Schwankungen in den Kurven ergeben; „sie stören den Verlauf der Säkular-Periode sehr; ohne ihr Vorhandensein würde man schon jetzt (1926) ziemlich sichere Aufschlüsse über das Wesen dieser langen Periode (des Anstiegs von 1856 bis 1920, d. Verf.) besitzen" (119). GAYE gibt in (23) und (24) übergreifende 19jährige Mittel der MW für zahlreiche Ostseepegel an. An der schwedischen und finnischen Küste haben die Ganglinien eine fallende Tendenz, die um so stärker ist, je nördlicher der Beobachtungsort liegt. Die in (24) dargestellte Jahresganglinie des südschwedischen Pegels Karlskrona zeigt nur noch ein schwaches Fallen, die Ganglinie des noch weiter südlich gelegenen Pegels Ystad verläuft fast horizontal. Bei dem Abfallen der Wasserstandsganglinie der skandinavischen Küstenpegel handelt es sich um keine echte Wasserstandssenkung, sondern um eine Hebung des Festlandes, die schon von A. CELSIUS 1743 festgestellt wurde (28). Es ist eine isostatische Hebung von Fennoskandien, die als Ausgleichsbewegung „mit der postglazialen Entlastung von Teilen der Kontinente durch das Inlandeis in Verbindung steht" (13). Es findet offenbar ein „Hochkippen" um eine Achse („Forchhammersche Linie" (28)) statt, die durch die Südspitze von Schweden verläuft. Die deutschen Ostseepegel zeigen im Gegensatz zu den schwedischen und finnischen einen Anstieg des Wasserstandes, der bei den westlichsten Pegeln Travemünde und Schleimünde am größten ist. Bei Swinemünde und Kolberg verlaufen die Ganglinien vor 1850 etwa horizontal und steigen erst danach deutlich an. Etwa ab 1920 wird bei den deutschen Ostseepegeln ein schwächeres Ansteigen bemerkbar. Bei dem Wasserstandsanstieg an den deutschen Ostseepegeln dürfte es sich wie bei den Nordseepegeln um ein echtes Ansteigen des Wasser handeln und nicht um eine Senkung der Ostseeküste, die gelegentlich auch als Ausgleichsbewegung zu der fennoskandischen Hebung gesehen wurde.

An der Nordseeküste werden übergreifende Mittel der MThw und MTnw meistens unabhängig voneinander gebildet und betrachtet. Wenn allein aus natürlichen Gründen eine Wasserstandsänderung eintritt, wird sie sich auf MThw und MTnw gleichsinnig auswirken. Man kann in diesen Fällen auch aus den Tidekurven das Tmw bestimmen oder ersatzweise aus Thw und Tnw das $T^1/_2w$ und deren Entwicklung in übergreifenden Mitteln des MTmw oder des $MT^1/_2w$ darstellen. Oft sind an einer Wasserstandsänderung mehrere Faktoren, natürliche wie künstliche, beteiligt. MThw und MTnw können dann auch eine unterschiedliche Entwicklungstendenz haben. Das ist gerade bei Ausbauten der Tideflüsse der Fall. Auch die Veränderung des Windeinflusses kann die Entwicklung von MThw und MTnw unterschiedlich beeinflussen (54). Meistens wirken sich Ausbaumaßnahmen stärker auf das Tnw als auf das Thw aus (32). Außerdem ist die Erfassung des Tnw unsicherer als die des Thw. Das ist besonders an kleinen Küstenhäfen der Fall, wo die Tnw stark vom Oberwasserabfluß beeinflußt sind und manchmal die Gewässer trockenfallen. Auch die Verschlickung von Zulaufrohren zu Pegelschächten beeinträchtigt das Tnw stärker als das Thw. Deshalb sollen bei den nachfolgenden Betrachtungen in erster Linie die Ganglinien der MThw herangezogen werden.

Wenn man die Ganglinien der übergreifenden Mittel von Tidewasserständen über

Die Küste, 30 (1977), 52-143

eine lange Zeitspanne betrachtet und z. B. ein allgemeines Ansteigen feststellt, so muß man sich klarmachen, daß – abgesehen von den schon erwähnten Auswirkungen menschlicher Eingriffe in das Tidegeschehen z. B. durch den Ausbau von Tideflüssen oder großräumige Eindeichungen – zahlreiche natürliche Faktoren für die Änderung maßgebend sein können. In (13) werden diese Faktoren aufgeführt und näher erläutert. Was man als Wasserstandsänderung aus den Pegelaufzeichnungen ermittelt, ist immer nur die Summe der Wirkung aller Faktoren. Es ist schwierig, die einzelnen Faktoren voneinander zu trennen. Für die Wasserstandsänderung von Esbjerg für die Zeit von 1890 bis 1950 hat es DIETRICH (13) unternommen, die wichtigsten Einflüsse getrennt darzustellen. Dichteeffekt, Luftdruckeffekt und Staueffekt werden sogar bis 1849 getrennt ermittelt. Eine solche Trennung ist für die meisten Orte soweit zurück oder für noch weiter zurückliegende Zeiten nicht möglich, da kein soweit zurückreichendes Beobachtungsmaterial von Temperatur, Luftdruck sowie Windstärke und -richtung vorhanden ist. Die Ermittlungen sind auch außerordentlich aufwendig.

Nach den Untersuchungen von DIETRICH (13) für Esbjerg betrug die mittlere Schwankungsbreite des Luftdruckeffekts am Gang des Wasserstandes in Monatsmittelwerten in den einzelnen Jahren von 1851 bis 1950 15,2 cm. Auf den Gang der übergreifenden 19jährigen Mittel des Wasserstandes hat sich der Gang der langjährigen Änderungen des Luftdrucks so ausgewirkt, daß der Wasserstand von 1918 (1909/27) bis 1940 (1931/49) um 1,0 cm gefallen ist. Von ähnlicher Größenordnung ist der Einfluß des Dichteeffekts. Die mittlere Schwankungsbreite betrug 13,4 cm bei den Monatsmitteln. In den 19jährigen Mitteln ist von einem Minimum 1915 (1906/24) bis zu einem Maximum 1939 (1930/48) ein Ansteigen des Wasserstandes um 0,6 cm infolge des Ganges des Dichteeffekts festzustellen. Am stärksten ist der Einfluß des Staueffekts, sein mittlerer Schwankungsbereich ist 43,9 cm bei den Monatsmitteln. Im Jahresgang des Wasserstandes gibt der Staueffekt den Ausschlag. Bei den 19jährigen übergreifenden Jahresmitteln liegt sein Anteil zwischen 11 und 13 cm, es ist eine periodische Schwankung im Einfluß des Staueffekts zu erkennen mit Maxima um 1865 und 1920 und Minima um 1885 und 1940. Zieht man die drei genannten Einflüsse von den entsprechenden Mittelwerten des Wasserstandes ab, so bleibt ein Rest übrig, der während der gesamten Untersuchungsperiode von 1899 (1890/1908) bis 1941 (1932/1950) eine eindeutige Steigungstendenz von 7 cm oder 11,4 cm in 100 Jahren hat. Dieser Anstieg muß nach (13) als eine Wirkung der eustatisch-geologischen Effekte angesehen werden.

Es ist wahrscheinlich, daß die verschiedenen Effekte in ihrer Relation zueinander an den einzelnen Pegeln der deutschen Nordseeküste von etwa gleicher Größenordnung wie in Esbjerg sind. Es wird sich daher bei dem beobachteten langjährigen Anstieg der Wasserstände um einen eustatischen Effekt handeln, der im wesentlichen durch Schwankungen des Staueffekts moduliert wird. Im folgenden soll für einige wichtige deutsche Küstenorte, von denen die meisten bereits im Abschnitt 2 hinsichtlich der an ihnen für frühere Zeiten ermittelten Sturmflutscheitelhöhen erwähnt wurden und an denen seit mehr als 100 Jahren Pegel bestehen, die Entwicklung der MThw in 19jährigen übergreifenden Mitteln betrachtet werden. Eine Trennung der einzelnen Effekte wie bei Esbjerg (13) wird dabei nicht vorgenommen, es wird jedoch versucht, die wesentlichen Unterschiede zwischen den Ganglinien der verschiedenen Pegel durch die anthropogenen Einflüsse, große Wasserbaumaßnahmen, zu deuten. Für Emden, Hamburg, Cuxhaven, Büsum, Tönning, Husum und Dagebüll sind in Abb. 10 die Ganglinien der übergreifenden 19jährigen Mittel der MThw dargestellt. Die einzelnen Werte beziehen sich auf die Abflußjahre (1. 11. bis 31. 10.). An die verschiedenen Abschnitte der Ausgleichsgeraden und an die geradlinigen Verbindungs-

linien der Anfangs- und Endpunkte der Ganglinien sind die auf jeweils 100 Jahre bezogenen Steigungen angeschrieben.

Cuxhaven. Der Pegel, der von den deutschen Nordseepegeln am längsten regelmäßig beobachtet wird, ist der Pegel Cuxhaven. Die Beobachtungen begannen 1784 (86). Leider ist für die Zeit vor 1843 kein lückenloses Datenmaterial verfügbar, so daß übergreifende 19jährige Mittel erst von 1843 an gebildet werden können. Eine Darstellung der Ganglinien von 1875/93 bis 1918/36 wird zuerst von HENSEN (31) gegeben. Er ermittelt einen Anstieg von 24 cm in 100 Jahren, wenn man alle Werte auf gleiche Oberwasserverhältnisse bezieht, von 29 cm. Die MTnw unterliegen einem ähnlichen Anstieg. Eine langperiodische Schwankung ist erkennbar.

HENSEN deutet zwar schon an, daß das Ansteigen der Wasserstände in Cuxhaven mit einem allgemeinen Anstieg der Nordseewasserstände als Wirkung einer Wasserstandshebung des Atlantischen Ozeans zusammenhängen kann. Für die wahrscheinlichste Ursache hält er aber noch eine Senkung der Küste.

In (95) und (83) werden Darstellungen der 19jährigen übergreifenden Mittel von MThw und MTnw vom Ende des 18. Jahrhunderts bis zur Gegenwart gebracht. Die Ganglinie für das MThw ist in einem größeren Höhenmaßstab in Abb. 10 wiedergegeben. Der Anstieg ist verhältnismäßig gleichmäßig. In (81) sind für die Zeit von 1843 an für die Ganglinie der 19jährigen MThw Ausgleichslinien nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet worden. Die Steigung der Ausgleichslinie zwischen 1843/61 und 1920/38 beträgt 28,9 cm in 100 Jahren, danach ist die Steigung deutlich geringer, sie wird mit 8,5 cm in 100 Jahren angegeben. In den letzten Jahren ist die Steigung etwas größer geworden, sie kann nach Abb. 10 zwischen 1920 und 1965 mit 12 cm in 100 Jahren angenommen werden. Zeichnet man eine gerade Verbindungslinie zwischen dem ersten Wasserstandsmittelwert, der für die Zeitspanne von 1784 bis 1810 mit NN + 104 cm angegeben wird, (95) und (86), und dem letzten Mittelwert für 1965/74, so beträgt deren Steigung 23 cm in 100 Jahren. Der Anstieg des MTnw ist mit rund 20 cm in 100 Jahren etwas geringer. Der Tidehub schwankt zwischen 280 und 290 cm, er konnte bisher weitgehend als unverändert angenommen werden (83). Es ist wahrscheinlich, daß in dem etwas stärkeren Anstieg der MThw in den letzten Jahren und einem gleichzeitigen Absinken der MTnw eine Folge der Ausbaumaßnahmen in der Außenelbe zu erkennen ist. Mit verstärkten Baggerungen in der Außenelbe ist im Rahmen des 12-m-Ausbaus 1964 begonnen worden (83), während früher die Baggerungen vorwiegend in der Unterelbe, also oberhalb von Cuxhaven, ausgeführt wurden. Abgesehen von der allerjüngsten Zeit dürfte der festgestellte Anstieg des MThw in Cuxhaven vorwiegend auf eustatischem Effekt und Staueffekt beruhen. Ein wesentlicher Einfluß des Oberwasserabflusses auf die Wasserstände in Cuxhaven, der berücksichtigt werden müßte, ist nach (83) nicht vorhanden.

Hamburg. In (95) und (83) werden übergreifende 19jährige Mittel von MThw und MTnw für Hamburg dargestellt. Der Verlauf der Ganglinien ist ein völlig anderer als in Cuxhaven, denn in Hamburg wirken sich die seit der Mitte des 19. Jahrhunderts in der Unterelbe ausgeführten Ausbaumaßnahmen sehr stark auf die Wasserstände aus. In Abb. 10 ist die Ganglinie der 19jährigen MThw für Hamburg von 1786/1804 bis 1956/74 wiedergegeben. Von den ersten Werten am Ende des 18. Jahrhunderts bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts, also bis zum Beginn der Ausbaumaßnahmen in der Unterelbe, beträgt der Wasserstandsanstieg rund 10 cm oder durchschnittlich 17 cm im Jahrhundert. Er ist eine Folge des säkularen Anstiegs des Nordseewasserstandes, wie er in dem Verlauf der Ganglinien von MThw und MTnw von Cuxhaven zum Ausdruck kommt. Von 1855 bis 1940 verläuft die Ausgleichslinie der Wasserstandsganglinie mit einer Steigung von

Die Küste, 30 (1977), 52-143

5 cm im Jahrhundert fast horizontal. Nach 1940 setzt ein sehr steiler Anstieg ein. Nach (83) ist der Anstieg des MTnw in dem ersten Zeitabschnitt bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts ebenso groß wie der des MThw. Danach beginnt aber ein Absinken, das zwischen 1895 und 1915 besonders stark ist. Der mittlere Tidehub ist von der Mitte des 19. Jahrhunderts bis zur Gegenwart von 180 cm auf 265 cm angestiegen. Dieses Verhalten ist, wie

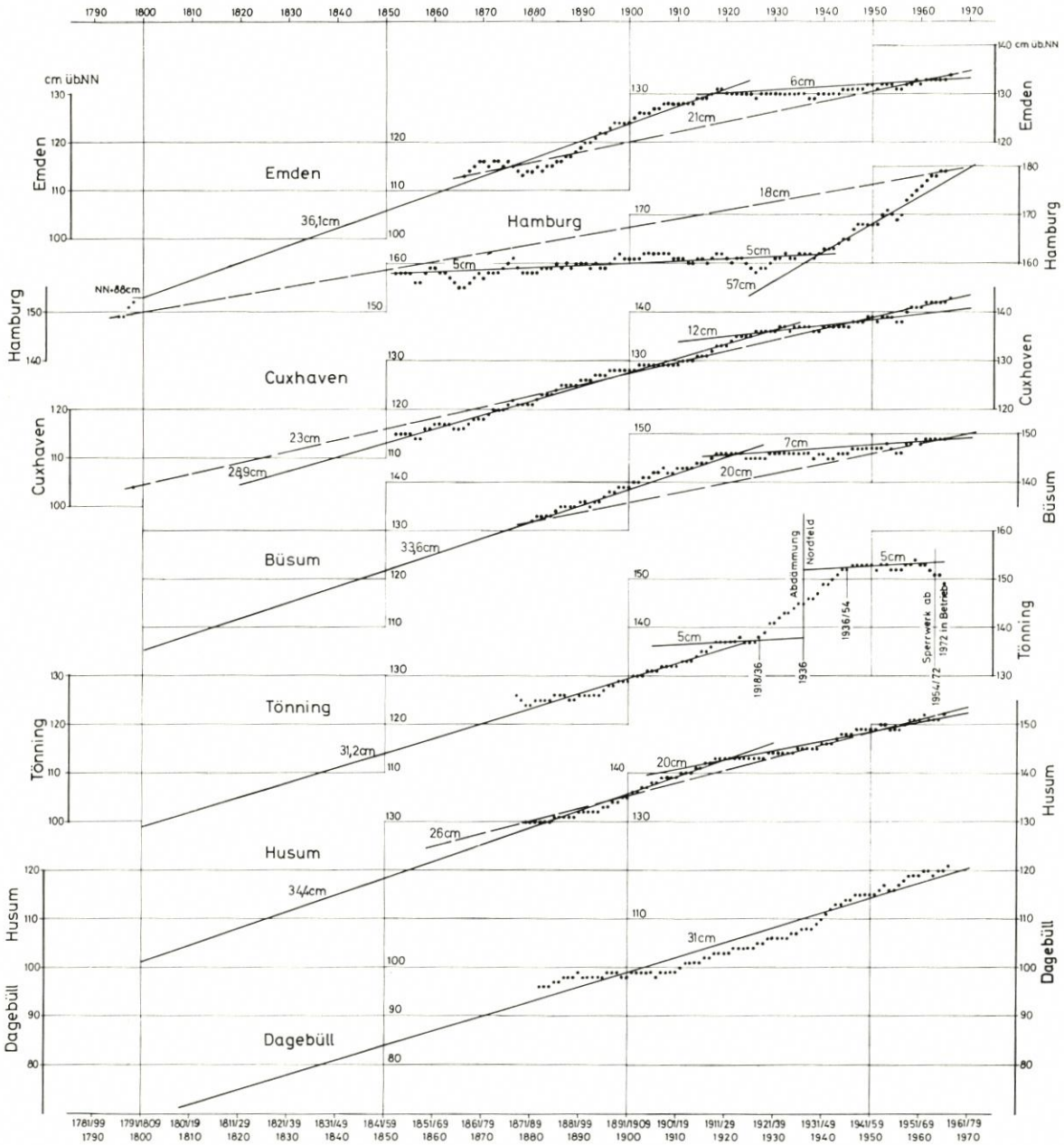


Abb. 10. Ganglinien der 19jährigen übergreifenden Mittel der MThw verschiedener Pegel

schon in (32) dargestellt und in (83) weiter ausgeführt wird, auf die Ausbauten der Unterelbe zurückzuführen:

> „Die Baggerungen und Strombaumaßnahmen in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts führten zu einem Absinken des MTnw, das zum Teil durch die Vergrößerung der Flutwassermenge infolge der Vergrößerung des Flutraumes durch die Hafenausbauten ausgeglichen werden konnte. Erst als um die Jahrhundertwende die Baggerungen erheblich anwuchsen, die Barre bei Blankenese beseitigt und umfangreiche Strombauten zwischen Altona und Brunshausen ausgeführt wurden, konnten die Hafenausbauten das Absinken des Tnw nicht mehr so weitgehend ausgleichen wie vorher, das Tnw sank daher zwischen 1900 und 1920 stark ab. Die seitdem ständig ausgeführten Ausbaumaßnahmen – Vertiefungsbaggerungen und Strombauten – führten zu einem weiteren Absinken des MTnw, wenn deren zeitliche Abhängigkeit im Vergleich zu der Zeit von 1900 bis 1920 auch etwas flacher verläuft" (83).

Die Ausbaumaßnahmen bewirken nach (32) beim MThw eines am oberen Ende einer Ausbaustrecke gelegenen Pegels einen Anstieg, der allerdings meistens geringer ist als das Absinken des MTnw. Die gleichzeitig ausgeführten Hafenausbauten haben diesen Anstieg, wie auch den allgemeinen säkularen eustatischen Wasserstandsanstieg, in der Zeit von der Mitte der 19. Jahrhunderts an weitgehend kompensiert, so daß der Anstieg des MThw sehr gering ist. Erst seit die Wasserflächen im Hafen nicht mehr wesentlich zunahmen, mußten die seitdem ausgeführten Ausbaumaßnahmen zu einem Ansteigen des MThw führen, das durch den säkularen Anstieg, wie er an dem von Ausbaumaßnahmen weitgehend unbeeinflußten Pegel Cuxhaven zu erkennen ist, noch verstärkt wurde. Als solche Ausbaumaßnahmen kommen in Betracht: die Strombauten an der Ostebank und bei Pagensand, die das Einlaufen der Tide verbesserten, die Vertiefungsbaggerungen (11-m-, 12-m- und 13,5-m-Ausbau), die Abdämmungen von Dove-Elbe und Alter Süderelbe sowie die Sturmflutsperrwerke in der Billwerder Bucht und an den Mündungen inzwischen aller Nebenflüsse der Unterelbe. Betrachtet man den durchschnittlichen säkularen Wasserstandsanstieg in Hamburg, so ist er vom Ende des 18. Jahrhunderts bis zur Gegenwart mit etwa 18 cm in 100 Jahren noch geringer als in Cuxhaven. Der Anstieg der 19jährigen MThw von 1935 bis zur Gegenwart beträgt im Mittel 57 cm im Jahrhundert (Abb. 10).

E m d e n. In Abb. 10 wird eine Darstellung der übergreifenden 19jährigen Mittel der MThw von Emden gegeben, die in der Mitte des 19. Jahrhunderts beginnt. Die Darstellung geht auf Angaben des WSA Emden zurück. Beim WSA Emden ist eine handgeschriebene Liste mit den MThw und den MTnw des Pegels an der Schleuse Nesserland vorhanden, die 1855 beginnt. Der Wert für 1855 ist aus 10 Monaten ermittelt, für 1856 sowie 1877 und 1878 fehlen die Werte. Die Höhe des PN ist mit NN + 0,953 m angegeben. Die Liste gibt als MThw 1855 PN + 0,02 m an, das entspricht NN + 0,973 m. Dieser Wert stimmt fast genau mit dem PN des 1855 angebrachten hölzernen Pegels im Hannoverschen Maß überein. Nach (86) lag der Nullpunkt auf NN + 0,977 m. Es ist also anzunehmen, daß PN des neuen Pegels 1855 auf MThw 1855 gelegt wurde. Noch eine Kontrolle wurde vorgenommen: Für 1860 ist im Stadtarchiv Emden eine vollständige Wasserstandsliste vorhanden (86). Aus den Tageswerten dieser Liste wurden Monatsmittel gebildet und aus diesen das Jahresmittel, es liegt 5,66″ über PN (= 13,8 cm, 1 Hannoverscher Zoll = 2,44 cm). Mit PN = NN + 0,977 m ergibt sich MThw 1860 zu NN + 1,115 m. In der genannten Liste ist dieser Wasserstand mit PN + 0,17 m angegeben oder NN + 0,953 + 0,17 = + 1,123 m. Beide Werte ergeben gerundet NN + 1,12 m. Auf Grund dieser Kontrollen kann die beim WSA Emden vorhandene Liste als richtig angesehen werden. Beim Aufstellen der Liste sind offenbar noch mehr Unterlagen aus der Zeit von 1855 bis 1862 vorhanden gewesen, denn die im Stadtarchiv vorhandenen

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Listen sind für mehrere Jahre, in denen in der Liste beim WSA Werte angegeben sind, nicht vollständig (86). Ab 1866 (Jahresreihe 1857/75) sind beim WSA Emden auf PN = NN — 500 cm bezogene 19jährige übergreifende Mittel der MThw und MTnw vorhanden. Für die ersten Jahre sind offenbar die in der obengenannten Liste enthaltenen Werte verwendet worden, für die Jahre ab 1879 bis 1931 wurden Jahresmittel des Lattenpegels Nesserland verwandt, die in den Akten des WSA vorhanden waren. Ab 1931 sind die Werte aus den Aufzeichnungen des Schreibpegels an der neuen Seeschleuse ermittelt worden.

Abgesehen von den ersten 10 Jahren zeigt die Ganglinie der 19jährigen Mittel bis etwa 1920 einen gleichmäßigen Anstieg. Die Steigung der nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelten Ausgleichsgeraden beträgt 36,1 cm in 100 Jahren. Die Ganglinie verläuft nach 1920 wesentlich flacher, die Steigung der Ausgleichsgeraden ist nur 6 cm in 100 Jahren. Die Verbindungsgerade zwischen dem ersten Wert und dem letzten Wert der in Abb. 10 dargestellten Ganglinie beträgt 21 cm in 100 Jahren. Nicht dargestellt ist die Ganglinie des MTnw für Emden. Sie zeigt keinen eindeutigen Trend, sondern pendelt zwischen NN — 165 cm und NN — 175 cm.

Die Wasserstandsganglinien von Emden sind ähnlich wie in Hamburg auch durch Ausbaumaßnahmen stärker beeinflußt. Die größere Schwankung im MThw zwischen 1865 und 1875 kann durch den Bau des ersten Geiseleitwerks (82) verursacht worden sein. Im relativ großen Anstieg des MThw zwischen etwa 1880 und 1920 und dem etwa gleichzeitigen Absinken des MTnw werden sich die Vertiefungsbaggerungen unterhalb von Emden (82) bemerkbar machen. Im Abschnitt 2.2 wurde erwähnt, daß diese Ausgleichsgerade, verlängert bis 1800, genau den Wert für das MThw ergibt, der auch nach anderen Überlegungen ermittelt wurde. Das nur schwache Ansteigen des MThw nach 1920 zeigt sich ebenso auch an anderen Küstenpegeln. Daß es trotz der seitdem in der Ems ausgeführten Ausbaumaßnahmen (82) nicht stärker ist, mag daran liegen, daß in der Ems auch oberhalb von Emden Baggerungen und Strombauten ausgeführt worden sind, Emden also mehr innerhalb der Ausbaustrecke als an ihrem oberen Ende lag. In einem solchen Fall steigen die MThw nicht an (32), wie auch an den Ganglinien der Pegel Glückstadt und Schulau zu erkennen ist (83), sie können sogar absinken. Eine genauere Analyse der Wasserstandsentwicklung am Pegel Emden müßte in anderem Zusammenhang noch ausgeführt werden.

W i l h e l m s h a v e n. In (53) gibt LÜDERS eine Darstellung der 19jährigen übergreifenden Mittel des MThw und des MTnw von Wilhelmshaven ab 1875. Er berechnet eine Ausgleichsgerade des MThw für eine Zeitspanne von 60 Jahren, die eine Steigung von 24 cm in 100 Jahren hat. Die Ausgleichsgerade wird nur für diesen Zeitraum berechnet, weil erst von 1875 an der Pegel Wilhelmshaven ein Schreibpegel ist. In (54) sind die Ganglinien für Wilhelmshaven ab 1855/73 dargestellt. Würde man die Ausgleichsgerade für das MThw von diesem Zeitpunkt an ermitteln, so würde sie etwas steiler verlaufen, da die Ganglinie in dem ersten Zeitabschnitt steiler ansteigt als ab 1875. LÜDERS vertritt in (54) die Auffassung, daß der Anstieg seine Ursache in einer Änderung des Windstaus habe, es sich also um eine Veränderung der meteorologischen Verhältnisse handelt. Er erkennt bereits eine Verminderung des Wasserstandsanstiegs ab 1910/28.

Eine Darstellung der 19jährigen MThw und MTnw wird auch in (46) gegeben. Danach beträgt der Anstieg des MThw in 93 Jahren 23 cm (25 cm in 100 Jahren) und des MTnw 13 cm (14 cm in 100 Jahren). Um 1920 ist kurzzeitig eine Verringerung des Anstiegs zu erkennen. Das MTnw verläuft über längere Zeitabschnitte (1865 bis 1895 und ab 1915) fast horizontal. Auch diese Wasserstandsentwicklung dürfte von Ausbaumaßnahmen beeinflußt worden sein, die Ende des vorigen Jahrhunderts mit dem Bau des

Leitdammes auf dem Schweinsrücken begannen und die sich – mit zeitlichen Unterbrechungen – bis zu der gerade abgeschlossenen Vertiefung des Jade-Fahrwassers auf KN — 20 m fortsetzen (82). Gerade die Vertiefungen des Jade-Fahrwassers nach 1956 können dazu geführt haben, daß nicht wie bei anderen Küstenorten der Anstieg des MThw ab etwa 1920 deutlich geringer geworden ist. Auch der fast horizontale Verlauf der Ganglinien des MTnw wird auf die Ausbaumaßnahmen zurückzuführen sein. Diese Maßnahmen hätten an sich zu einem Absinken des MTnw führen müssen, das aber durch den säkularen Anstieg ausgeglichen wurde. Bei den sehr viel größeren Querschnitten wirkten sich die Vertiefungen nicht so stark auf die MTnw aus wie in der Unterelbe bei Hamburg.

Eine interessante Untersuchung wird in (120) vorgenommen. Für die Zeit von 1870 bis 1963 werden aus den 4 täglichen Wasserstandswerten (je 2 Thw und Tnw) ein Tageswert gebildet und daraus Monatswerte. Es ergibt sich ein Anstieg des „Mittelwassers" von 20 cm im Jahrhundert. Dieser Anstieg ist geringer als der des MThw, wie er von anderen Autoren für Wilhelmshaven ermittelt wurde, da der – wahrscheinlich auf Grund anthropogener Einflüsse – geringere Anstieg des MTnw im Anstieg des „Mittelwassers" mit berücksichtigt wird. Eine Beziehung zwischen Windhäufigkeit, Windrichtung und Wasserstand wird nachgewiesen.

O s t f r i e s l a n d. Für den Pegel Norderney sind seit 1891 die Ergebnisse regelmäßiger Pegelbeobachtungen vorhanden, (43) und (116). In (46) werden Ganglinien der 19jährigen übergreifenden Mittel für MThw und MTnw dargestellt. Es ergibt sich danach ein Anstieg des MThw von 15 cm und des MTnw von 13 cm in 56 Jahren (27 cm bzw. 23 cm in 100 Jahren). Ab etwa 1930 ist der Anstieg des MThw schwächer, zwischen 1920 und 1935 verläuft die Ganglinie des MTnw fast horizontal. JANSSEN gibt den aus MThw und MTnw gemittelten Wasserstandsanstieg von Norderney mit 23 cm im Jahrhundert an, (43) und (116). Aus der Höhenlage des alten Bensersiels, der bis 1891 bestanden hat und 1967 ausgegraben wurde, konnte durch Vergleich mit alten Zeichnungen die Höhenlage des MThw und 1840 mit NN — 101 cm festgestellt werden. Es ergibt sich daraus ebenfalls ein säkularer Wasserstandsanstieg von 23 cm im Jahrhundert, (40), (43), (86) und (116).

B r e m e r h a v e n. Übergreifende Mittelwerte der Wasserstände von Bremerhaven werden in (72), (104), (100) und (102) mitgeteilt. Der in (100) festgestellte Anstieg des MThw anhand von 19jährigen Mitteln für die Zeitspanne 1881 bis 1959 ist mit 16 cm in 100 Jahren ebenso groß wie der in (72) durch 5jährige Mittel bestimmte Anstieg für den Zeitabschnitt 1862 bis 1929. Für das MTnw ergibt sich ein Absinken von 5 cm in 100 Jahren (1881 bis 1959) bzw. 8,9 cm in 100 Jahren (1900 bis 1963). Dieses Verhalten ist mit den Ausbauten der Unterweser und der Außenweser zu erklären, wie auch in (104) durch Vergleich der Ganglinien von Bremerhaven und Wilhelmshaven festgestellt wird. Bremerhaven liegt weiter oberhalb im Weserästuar als vergleichbar Cuxhaven im Elbeästuar liegt. Es liegt seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts innerhalb eines Ausbaugebietes (82). Innerhalb des Ausbaugebietes kann es zu einem Absinken sowohl des MThw als auch des MTnw kommen (32). Durch die Ausbaumaßnahmen – Vertiefungen und Strombauten – wird dem säkularen Ansteigen des MTnw eine stärkere Absenkung überlagert, die Absenkung des MThw schwächt den säkularen Anstieg des MThw. Der MThb ist nach (102) von 1900 bis 1963 von 328 cm auf 344 cm gestiegen.

B ü s u m. Die Ganglinie der 19jährigen Mittelwerte des MThw ist in (75) dargestellt. Es ergeben sich Ausgleichsgeraden für die Zeit von 1880 (1871/79) bis etwa 1920 mit Steigungen von 33,6 cm und ab 1920 von 5 cm in 100 Jahren. In Abb. 10 ist die Darstellung bis 1965 (1956/74) fortgesetzt, die Ausgleichsgerade nach 1920 hat auf Grund der

Die Küste, 30 (1977), 52-143

in den letzten Jahren etwas höher eingetretenen MThw eine Steigung von 7 cm in 100 Jahren. Ausbaumaßnahmen, durch die ein so starker Unterschied in der Steigung verursacht worden sein kann, sind nicht bekannt. Die Änderung der Steigung muß daher durch natürliche Faktoren bedingt sein. Als durchschnittlichen Anstieg des MThw für den gesamten Beobachtungszeitraum ergeben sich nach Abb. 10 20 cm in 100 Jahren.

T ö n n i n g. Nach (75) beträgt die Steigung der Ausgleichsgeraden zwischen 1877 (1868/86) 31,2 cm in 100 Jahren. Ab etwa 1920 ist eine Verflachung erkennbar, die Steigung wurde entsprechend der Steigung für Büsum mit 5 cm pro Jahrhundert angenommen. Ab 1918/36 steigen die MThw infolge der 1936 hydraulisch wirksam gewordenen Eiderabdämmung bei Nordfeld steiler an, bis 1936/54 die Ganglinie wieder in einen flachen Verlauf übergeht. Nach (75) ist die Ganglinie der 19jährigen übergreifenden Mittel mit einem Sprung im Jahre 1936 (1927/45) darzustellen. Für die Ganglinie in den Zeitabschnitten vor und nach 1936 wird die Steigung des entsprechenden Abschnitts der Ganglinie von Büsum mit 5 cm pro Jahrhundert auch für Tönning als maßgebend angenommen. Diese Linie gilt allerdings nur bis 1963 (1954/72), da von diesem Zeitpunkt an das neue, in der Linie Vollerwiek/Hundeknöll erbaute Eidersperrwerk wirksam wird. Es kehrt seitdem alle hohen Tiden, was sich in einem Absinken der MThw in Tönning auswirken muß. Bei den geschilderten Verhältnissen ist es wenig sinnvoll, einen durchschnittlichen Anstieg für die gesamte Beobachtungszeit zu ermitteln, er beträgt jedoch etwa 26 cm in 100 Jahren.

H u s u m. Der Anstieg der Ausgleichsgeraden der übergreifenden 19jährigen MThw beträgt in den Jahren von 1879 (1870/88) bis etwa 1920 34,4 cm im Jahrhundert (75). Danach ist der Anstieg geringer und nach Abb. 10 mit etwa 20 cm in 100 Jahren anzusetzen, wenn man einen kurzen Zeitabschnitt zwischen 1920 und 1927 mit besonders geringem Anstieg einbezieht. Dieser gegenüber Büsum, Cuxhaven und Tönning relativ große Anstieg kann eine Folge des endgültigen Ausbaus des Nordstrander Dammes sein, der zu einer Verlandung in der Nordstrander Bucht geführt hat (81), die heute noch andauert. Als durchschnittlicher Anstieg für die gesamte Beobachtungszeit ergeben sich nach Abb. 10 26 cm im Jahrhundert. Seit Anfang des 19. Jahrhunderts muß sich auch der Tidehub in Husum erheblich verändert haben. In (2) wird die Höhe des Sturmflutscheitels 1825 mit 22′ über ordinärer Ebbe und 14′ über ordinärer Flut angegeben. Daraus ergibt sich ein mittlerer Tidehub von 8′ oder 229 cm im Hamburger und 251 cm im dänischen Fußmaß. Der MThb ist heute 336 cm (Tab. 2). Ursache für die Vergrößerung des Tidehubes kann die Eintiefung der großen Wattströme sein, die heute noch andauert. Darin kann auch ein Grund für den relativ stärkeren Anstieg des MThw gegenüber Cuxhaven, Büsum und Tönning liegen.

D a g e b ü l l. Nach Abb. 10 verläuft die Ganglinie der 19jährigen Mittel des MThw für Dagebüll seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen im Jahre 1873 bis 1975 recht gleichmäßig. Die für diese Zeitspanne gebildete Ausgleichsgerade hat eine Steigung von 31 cm in 100 Jahren. Auch hier ist die sonst häufige Abflachung der Ganglinie ab etwa 1920 nicht erkennbar. Vielleicht sind für den fast kontinuierlichen Anstieg der Ganglinie entsprechende Gründe maßgebend, wie sie für Husum vermutet werden: Dammanschluß der Halligen Oland und Langeneß, Bau des Hindenburgdamms und Verlandung der Bucht südlich davon sowie Austiefen der Wattströme zwischen Föhr und dem Festland.

Aus den vorstehenden Ausführungen ergibt sich, daß an allen deutschen Küstenpegeln seit dem Beginn ihrer regelmäßigen Beobachtung ein Ansteigen des MThw festzustellen ist. Der Anstieg liegt, wenn man für die Ganglinien der 19jährigen übergreifenden Mittel Ausgleichsgeraden berechnet, zwischen durchschnittlich 20 und 30 cm, im Mittel bei 25 cm in

100 Jahren. Ein stark abweichendes Verhalten zeigen Hamburg und Bremerhaven, wo die Ganglinien in ihrem gesamten Verlauf sehr stark durch Ausbaumaßnahmen beeinflußt sind. Die anderen Pegel zeigen für den Zeitabschnitt von der Mitte des 19. Jahrhunderts bis etwa 1920 einen Anstieg zwischen 25 und 36 cm in 100 Jahren. Da der Anstieg bei den Küstenorten, für die Beobachtungen auch für Zeiten vor 1850 vorliegen, ebenso verläuft wie im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts (Cuxhaven seit 1784, Bensersiel seit 1840), ist es berechtigt, die Ausgleichsgeraden bei den anderen Pegeln, soweit keine Beeinflussungen der Wasserstände durch Ausbaumaßnahmen oder wesentliche Veränderungen durch Änderung der morphologischen Verhältnisse vorgelegen haben, mindestens bis etwa 1800 rückwärts zu verlängern, um brauchbare Werte für das MThw um 1800 zu erhalten.

Tabelle 4

Säkularer Anstieg der MThw, MHThw und der höchsten Sturmflutscheitel an den verschiedenen Orten

	Anstieg in cm in 100 Jahren bei den 19jährigen Mitteln des MThw			MHThw (19jährige Mittel)	höchsten Sturmflutscheiteln
	vor 1920	nach 1920	im Mittel		
Emden	1857/1920	1920/1975	1857/1975		1570/1976
	36,1	6	21	—	21
Wilhelmshaven	25	25	25	—	Dangast
	(nach J. KRAMER 1967)				1570/1976
					28,5
Bremerhaven	16	16	16	—	1717/1976
	(nach P. STRÖHMER 1960)				22,5
Cuxhaven	1843/1925	1920/1975	1784/1975	1813/1976	1717/1976
	28,9	12	23	24,2	≤ 30
Hamburg	1843/1940	1940/1975	1786/1974	1841/1976	1661/1975
	5	57	18	31,9	< 28
					> 25
Büsum	1871/1925	1920/1974	1871/1974	—	—
	33,6	7	20		
Tönning	1868/1925	1920/1972	1868/1974	1876/1972	1625/1972
	31,2	5	(26)	28,5	< 22
					> 18
Husum	1870/1920	1920/1974	1870/1974	—	1717/1976
	34,4	20	26		< 34
					> 21
Dagebüll	1873/1920	1920/1975	1873/1975	—	—
	31	31	31		
Nordfriesland	—	—	—	—	1532/1976
					(23)

Der Anstieg nach 1920 ist zum Teil sehr viel flacher. Unterschiede zwischen den einzelnen Pegeln in der Steigung der Ausgleichslinien der Ganglinien 19jähriger übergreifender Mittel des MThw lassen sich meistens zwanglos durch Ausbaumaßnahmen, also durch anthropogene Einflüsse, erklären. Alle Werte sind in Tab. 4 zusammengestellt. Ein ähnliches Verhalten zeigen auch die Ganglinien der 19jährigen Mittel des MW der Pegel der westlichen Ostsee, Travemünde und Schleimünde. Der Anstieg beträgt nach (24) 25,6 cm bzw. 24,5 cm in 100 Jahren. Ab 1920 ist auch hier eine geringere Steigung zu erkennen. Auch zahlreiche Pegel in den Niederlanden zeigen ein ähnliches Verhalten, wie aus einer

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Darstellung in (103) hervorgeht. Als mittlerer Anstieg wird 20 cm in 100 Jahren angegeben. An den deutschen und niederländischen Pegeln ist demnach der Wasserstandsanstieg größer als der am Pegel Esbjerg (13) beobachtete. Es ist möglich, daß Esbjerg noch geringfügig durch die Hebung Skandinaviens beeinflußt wird. Eine solche geringe Landhebung führt zur Beobachtung eines geringeren säkularen Wasserstandsanstiegs am Pegel. Der geringere Anstieg nach 1920 erschwert es, mit geodätischen Mitteln nachzuweisen, daß keine Küstensenkung vorliegt. Der Wasserstandsanstieg, der auf Pegelbeobachtungen zwischen dem ersten und dem zweiten Nordseeküsten-Feinnivellement ermittelt wurde, liegt in derselben Größenordnung wie die gemessenen Höhenwertdifferenzen, die aber zugleich den aus den Messungen herrührenden Unsicherheiten entspricht (27).

Vorwiegend dürfte es sich nach den Ausführungen in (13) bei dem Ansteigen der Wasserstände – wenn man von den anthropogenen Einflüssen absieht – um einen eustatischen Effekt handeln, der durch Staueffekte überlagert wird. Auch in (14) wird unter Hinweis auf Arbeiten von LEGRAND aus den Jahren 1940 und 1941 auf Zusammenhänge zwischen dem Ansteigen der Wasserstände und der Erwärmung der Nordpolargebiete hingewiesen. Bei dem unterschiedlichen Ansteigen vor und nach etwa 1920, das an den meisten hier betrachteten Pegeln zu erkennen ist, kann es sich um die Auswirkung einer unterschiedlichen Erwärmung der Polarmeere handeln. Diese Vermutung wird auf Grund von Messungen der Wassertemperaturen im Nordpolargebiet, die in (73) mitgeteilt sind, bereits in (81) ausgesprochen. Nach (111) ist die Jahresmitteltemperatur auf der Nordhalbkugel von 1890 bis 1940 um 0,6 bis 0,7° C angestiegen, in den Polargebieten sogar um 1,5°. Seit 1940 ist die Temperatur um 0,4 bis 0,5°, im Polargebiet um 0,6° gefallen. Nach einer Mitteilung in Nr. 16/76 von „Ozean und Technik" aus russischen Quellen sind seit den 40er Jahren die Durchschnittstemperaturen in der Polarregion zum Teil um 3° C gesunken, und die Eisfelder zwischen Grönland und dem östlichen Ende Sibiriens haben sich um 600 000 km² weiter südlich ausgedehnt. Bis zu den 40er Jahren ist die Arktis dagegen allmählich wärmer geworden. Wenn sich die Tendenz der Abkühlung fortsetzt, müßte sich der säkulare Wasserstandsanstieg weiter verringern und allmählich in ein Absinken übergehen.

3.3 Die Scheitelhöhen der jährlich höchsten Wasserstände und die Häufigkeit hoher Wasserstände

In (51), (75) und (81) wurden Untersuchungen über die jährlich höchsten Thw (HThw) für verschiedene Pegel angestellt. Diese Untersuchungen sollen in diesem Abschnitt 3.3 auf Grund des inzwischen zusätzlich vorliegenden Materials (86) fortgesetzt werden. LIESE scheinen die Jahreshöchstwerte auf Grund seiner Untersuchungen (51) ein geeigneterer Ausgang für die Ermittlung der zukünftigen höchsten Sturmflut zu sein als die Gesamtheit aller Tidehochwasserstände. Er gibt als „Urliste" eine Zusammenstellung der HThw von insgesamt 11 Nordseepegeln an, die von 1843 bis 1962 reicht. 1843 beginnt die Liste allerdings nur mit einem Wert für Cuxhaven, 1845 kommt Bremerhaven hinzu, wobei die Werte bis 1857 als unsicher gekennzeichnet sind. Für Wilhelmshaven beginnt die Liste 1854, für Delfzijl 1871, für Husum, Büsum und Dagebüll 1873, für Esbjerg 1889, für Norderney 1891 und für Helgoland 1896.

Bei allen genannten Orten handelt es sich für die jeweils ersten Jahrzehnte um Lattenpegelablesungen. Diese sollen grundsätzlich aus den im Abschnitt 3.2 genannten Gründen als gleichwertig mit den Schreibpegelaufzeichnungen anerkannt werden. Soweit sich die

Lattenpegelablesungen aber nur auf Tageswerte beschränken, sind die Werte für HThw nicht mit den Schreibpegelaufzeichnungen gleichwertig. Die an Schreibpegeln aufgezeichneten Tidekurven geben die Thw bei Tag und bei Nacht wieder, so daß HThw mit Sicherheit erfaßt wurde. Es ist dagegen unsicher, ob bei reinen Tagesablesungen der Lattenpegel das HThw eines jeden Jahres erfaßt worden ist. In mindestens 50 % der Fälle tritt HThw nachts auf (nach einer Untersuchung in (53) ist die Sturmfluthäufigkeit nachts sogar etwas größer als am Tage), nur bei den außergewöhnlichen Sturmfluten wurden die Lattenpegel, die normalerweise nur bei Tage abgelesen wurden, auch bei Nacht beobachtet. Mit Ausnahme von Cuxhaven (86) gehen die in der „Urliste" in (51) enthaltenen Werte der verschiedenen Pegel für einige Jahrzehnte auf Tagesablesungen an Lattenpegeln zurück, sie sind daher nicht mit Sicherheit die wirklichen HThw der betreffenden Jahre. Für seine weiteren Untersuchungen betrachtet Liese allerdings vorwiegend die 70jährige Zeitspanne von 1893 bis 1962, während der die meisten genannten Pegel bereits Schreibpegel waren.

Ein anderer Weg wird in (75) und (81) gegangen. Hier werden nur die aus Schreibpegelaufzeichnungen ermittelten HThw angegeben. Für dieselbe Zeitspanne, für die die HThw aufgeführt werden, sind auch die Überschreitungen vom MThw + 1,50 m und 2,50 m dargestellt, hierauf wird weiter unten noch eingegangen. In (81) ist für die von 1864 bis 1966 aufgetragene HThw von Cuxhaven eine Ganglinie der übergreifenden 19jährigen Mittel gezeichnet worden. Sie zeigt insgesamt eine steigende Tendenz und offensichtlich eine Schwankung um eine Ausgleichsgerade. Wie in (86) mitgeteilt wurde, konnte im Archiv des Niedersächsischen Hafenamtes in Cuxhaven eine von Lentz gefertigte Zusammenstellung aller Sturmfluten, deren Scheitel in Cuxhaven über 14′ oder 5,90 m a. P. lagen, aufgegliedert nach Monaten, gefunden werden, die 1813 beginnt. Dabei waren auch die absoluten Höhen der jährlichen HThw angegeben. Für die Zeit von 1787 bis 1796 lassen sich die HThw aus den von Woltmann gefertigten Listen entnehmen, die im Staatsarchiv vorhanden sind (Abschnitt 2.5). Bemerkenswert ist bei den Beobachtungen von Cuxhaven, daß sie auch alle bei Nacht eingetretenen Thw erfassen. Der Lattenpegel wurde auch nachts abgelesen (86), ab 1863 war er ein „Stellpegel", bei dem ein Schwimmer bei Thw durch einen Sperrhaken festgehalten wurde. Erst 1899 wurde der Pegel Cuxhaven Schreibpegel (31). Es liegen also für Cuxhaven mit Ausnahme der Zeit von 1797 bis 1812 echte HThw von 1787 bis 1976 vor. Für Hamburg sind von 1843 an die bei Tage und bei Nacht beobachteten HThw registriert worden, ab 1863 ist der Pegel St. Pauli ein Schreibpegel. In Abb. 11 sind alle HThw für Cuxhaven und Hamburg grafisch aufgetragen. Für Hamburg sind auch die sich aus den in den Hamburgischen-Addreß-Comtoir-Nachrichten veröffentlichten Tabellen von 1786 bis 1811 ergebenden jährlich höchsten Wasserstände eingetragen und die Sturmflutscheitel vor 1786, die in Tabelle 1 genannt sind. Von 1786 bis 1811 sind dabei nur die bei Tage eingetretenen Werte erfaßt. Die Angaben für Cuxhaven beziehen sich bis 1854 auf die Kalenderjahre, danach auf die Abflußjahre. Für Hamburg sind die Werte ab 1841 auf die Abflußjahre bezogen. Die sich durch diese unterschiedlichen Bezüge ergebenden Abweichungen sind ohne Bedeutung für die weiteren Ermittlungen. Die Abb. 11 entspricht für Cuxhaven und Hamburg der „Urliste" nach (51).

Für Cuxhaven und Hamburg wurden nun übergreifende 19jährige Mittel der HThw gebildet, sie sind in Abb. 12 grafisch aufgetragen. Dabei wurde ein größerer Höhenmaßstab gewählt als in der entsprechenden Darstellung in (81). Die Ganglinien zeigen ein deutliches Pendeln, aber auch ein eindeutiges Ansteigen. Nach der Methode der kleinsten Quadrate wurden Ausgleichsgeraden berechnet, sie sind in Abb. 12 ebenfalls eingetragen. Die Steigung der Ausgleichsgeraden der 19jährigen übergreifenden Mittel für Cuxhaven, die aus den Werten von 1813 bis 1976 ermittelt wurde, beträgt 0,242 cm/Jahr (24,2 cm in

Die Küste, 30 (1977), 52-143

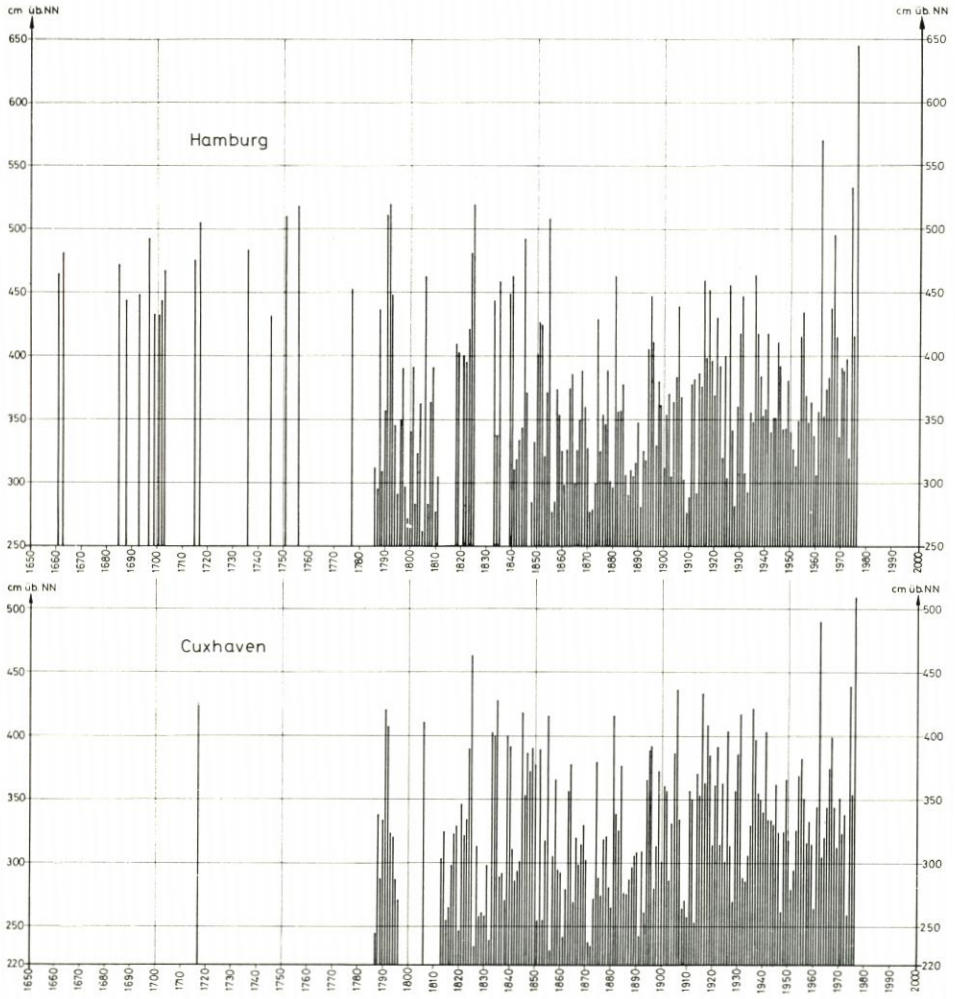


Abb. 11. HThw von Hamburg und Cuxhaven

100 Jahren). Dieser Wert entspricht sehr genau der Steigung der Ausgleichsgeraden der übergreifenden 19jährigen Mittel des MThw von Cuxhaven für den Gesamtzeitraum von 1784/1810 bis 1957/75, die in Abb. 10 eingetragen ist und eine Steigung von 23 cm im Jahrhundert hat. Für Hamburg ist die Ganglinie der übergreifenden Mittel in Abb. 12 unter der von Cuxhaven eingetragen. Der Verlauf ist ganz ähnlich wie der der Ganglinie von Cuxhaven. Es wurde ebenfalls die Ausgleichslinie berechnet, jedoch wurden nur die Werte für die Zeitspanne von 1841 bis 1975 benutzt. Das HThw 1976 wurde dabei weggelassen, weil dieser Wert aus den in Abschnitt 3.4 geschilderten Gründen nicht mit den Scheitelwerten früherer sehr schwerer Sturmfluten vergleichbar ist. Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt 0,319 cm/Jahr (31,9 cm in 100 Jahren). Diese Steigung ist erheblich größer als die Steigung der in Abb. 10 dargestellten Geraden, die den frühesten Wert der Ganglinie der 19jährigen MThw von Hamburg (1786/1804) mit dem jüngsten (1955/73) verbindet. Diese Steigung ist nur 18 cm im Jahrhundert. Berechnet man für die Zeitspanne

von 1841 bis 1975 auch die Ausgleichsgerade für Cuxhaven, so ist die Steigung mit 38,6 cm auch erheblich größer als die der Ausgleichsgeraden der 19jährigen Mittel der MThw von 1813 bis 1976.

Die sehr stark voneinander abweichenden und zum Teil von den Steigungen der Ausgleichsgeraden der entsprechenden Ganglinien der MThw abweichenden Steigungen lassen sich durch die starken Schwankungen der Ganglinien der 19jährigen übergreifenden Mittel der HThw erklären. Diese Schwankungen sind sehr viel größer als die Schwankungen der Ganglinien der MThw, wie der Vergleich von Abb. 10 und Abb. 12 zeigt. In der Zeit von 1822 (1813/31) bis 1850 (1841/59) liegen die 19jährigen MThw von Cuxhaven relativ hoch, dadurch wird die Steigung der Ausgleichsgeraden vermindert. Die MHThw der Zeitspanne von 1813 bis 1841 werden für Hamburg, wie sich aus dem Vergleich der Ganglinien für Cuxhaven und Hamburg schließen läßt, auch relativ hoch liegen, wodurch die Ausgleichsgerade ab 1822 flacher verlaufen würde. Da die Ausgleichsgerade der Ganglinie für Hamburg für die Zeit von 1841 bis 1975 flacher verläuft als die der entsprechenden Ganglinien von Cuxhaven (31,9 cm gegenüber 38,6 cm in 100 Jahren), ist zu vermuten, daß die Ausgleichsgerade für die Zeitspanne von 1813 bis 1975 auch eine geringere Steigung haben würde als die von Cuxhaven. Sie dürfte wahrscheinlich auch etwa der Steigung der Verbindungsgeraden der äußersten Werte der Ganglinie der MThw von Hamburg entsprechen, die nach Abb. 10 18 cm in 100 Jahren beträgt. Man könnte mit Hilfe einer Korrelationsrechnung auf Grund des Verlaufes der Ganglinien der MHThw von Hamburg und Cuxhaven nach 1850 (1841/59) die Linie von Hamburg nach der von Cuxhaven bis 1822 (1813/31) ergänzen und dann eine neue Ausgleichsgerade berechnen. Hierauf wurde aber verzichtet, da sich keine wesentlichen neuen Erkenntnisse dadurch erwarten lassen und es letztlich unerheblich ist, ob die Steigung einer nach ergänzten Werten berechneten Ausgleichsgeraden genau die gleiche ist wie die der Ganglinie der MThw oder davon etwas abweicht. Aus den geschilderten Untersuchungen ergibt sich, daß man für die jährlich höchsten Thw im Mittel dieselbe Höhenzunahme annehmen kann wie bei den MThw. Diese Höhenzunahme beruht auf dem allgemeinen säkularen Anstieg der Wasserstände. Die Beobachtung, die in (51) mitgeteilt wird, daß der Anstieg der HThw stärker ist als der säkulare Anstieg der MThw, ist darin begründet, daß für die HThw Zeitspannen betrachtet wurden, die erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts beginnen und eine vorhergehende Periode hoher HThw nicht berücksichtigen.

Zum Vergleich ist in Abb. 12 auch die Ganglinie der MHThw von Tönning dargestellt, wie sie sich nach den in (75) angegebenen Werten ergibt. Mit Rücksicht auf die Wirksamkeit des neuen Eidersperrwerks wurde sie nur bis 1972 gezeichnet. Der Verlauf der Ganglinie ist dem der Ganglinie von Cuxhaven sehr ähnlich. Unterschiede zwischen beiden sind in der unterschiedlichen örtlichen Lage bedingt und nach 1932 (1918/36) wohl auch durch die Auswirkung der Eiderabdämmung bei Nordfeld auf die Wasserstände. Die Steigung der Ausgleichsgeraden wurde mit 0,285 cm/Jahr berechnet, ist also nur etwas größer als die Steigung der Verbindungsgeraden der äußeren Punkte der in Abb. 10 dargestellten Ganglinie, die nach Abschnitt 3.2 0,26 cm/Jahr beträgt. Für die Zeitspanne, für die die Ganglinie von Tönning in Abb. 12 dargestellt ist, beträgt die Steigung der entsprechenden Ausgleichsgeraden von Cuxhaven 0,249 cm/Jahr. Sie ist auch hier nur etwas größer als die durchschnittliche Steigung der MThw und rein zufällig fast gleich groß wie die Steigung der Ausgleichsgeraden der Zeitspanne 1813 bis 1976. Diese Ermittlungen bestätigen die aus dem Vergleich der Ganglinien von Hamburg und Cuxhaven gewonnenen Erkenntnisse grundsätzlich. Entsprechende Ganglinien für andere deutsche Küstenpegel wurden nicht gezeichnet, weil sie keine weitergehenden Erkenntnisse bringen können, da

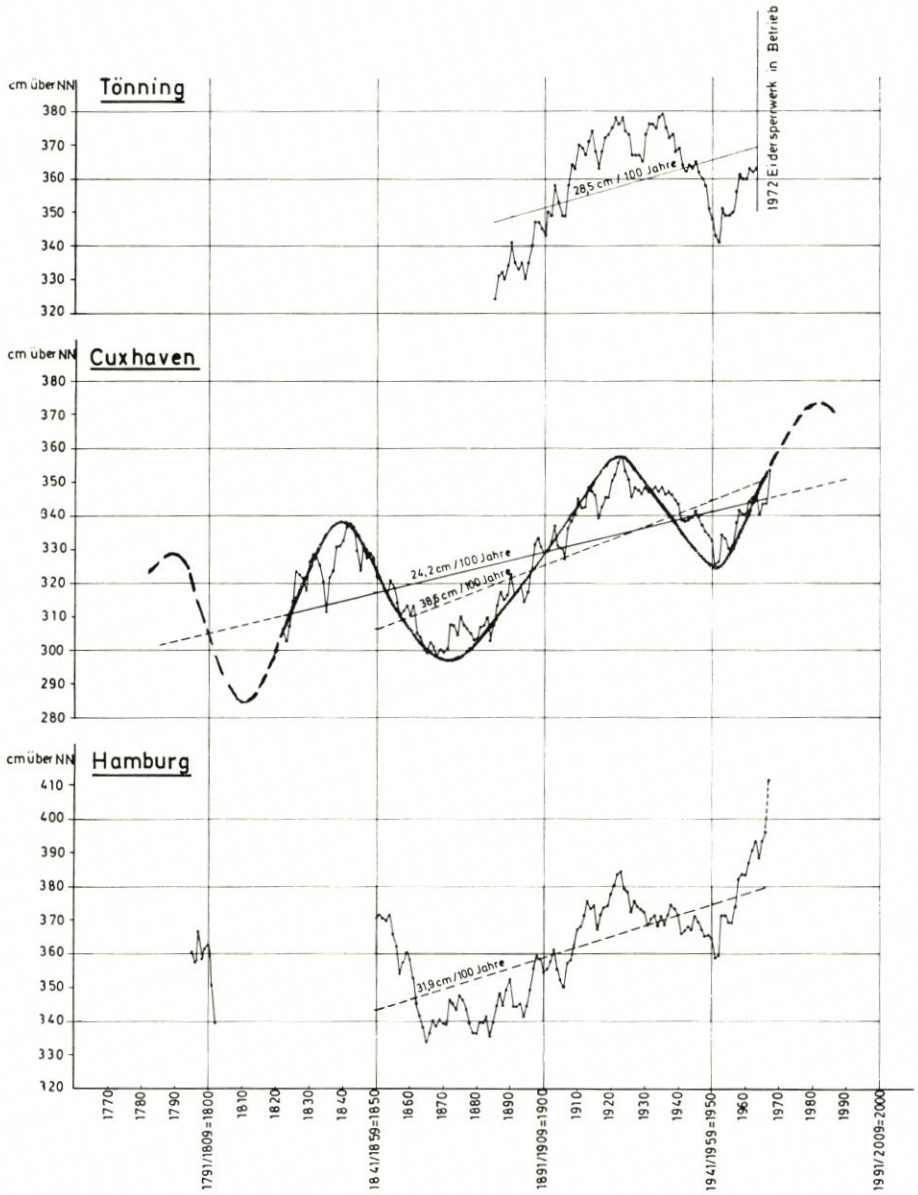


Abb. 12. MHThw von Tönning, Cuxhaven und Hamburg (19jährige übergreifende Mittel)

sie nur kürzere Zeitspannen umfassen. Nach Cuxhaven und Hamburg ist Tönning der Pegel an der deutschen Nordseeküste, für den die Thw bei Tage und bei Nacht auf Grund von Schreibpegelaufzeichnungen am weitesten zurück verfügbar sind, (75) und (86).

Die Ganglinie der MHThw von Cuxhaven in Abb. 12 zeigt, wie schon gesagt, ein deutliches Pendeln um die Ausgleichslinie, deren Steigung sehr genau dem säkularen Wasserstandsanstieg entspricht. In die Ganglinie von Cuxhaven in Abb. 12 ist eine Kurve eingetragen, die den Verlauf der Ganglinie ausgleicht. Diese Kurve zeigt deutliche Maxima

Die Küste, 30 (1977), 52-143

um 1840 und um 1920/25, Minima um 1875/80 und 1950/55. Für Hamburg lassen sich für die Zeitspanne von 1786 bis 1811 zusätzlich 19jährige übergreifende Mittel der HThw berechnen. Sie sind allerdings nicht ganz mit denen von Hamburg und Cuxhaven aus den späteren Zeitabschnitten vergleichbar, weil sie vorwiegend aus Tageswerten ermittelt wurden. Ihr Verlauf läßt aber vermuten, daß um 1790 oder zwischen 1780 und 1790 wieder ein Maximum der HThw liegen dürfte und ein Minimum zwischen 1800 und 1820. Der ausgleichende Linienzug für Cuxhaven wurde entsprechend gestrichelt ergänzt. Der Linienzug hat eine Periode, die zwischen 50 und 80 Jahren liegt. Ergänzt man die Kurve weiter im voraus, so ist ein Maximum um 1985 zu erwarten. Diese Extrapolation ist jedoch nicht als eine exakte Zukunftsprognose aufzufassen! Die Maxima und Minima liegen mit ihren Höhen etwa auf Geraden, die parallel zu der Ausgleichsgeraden verlaufen. Die so ermittelte Kurve entspricht weitgehend der, die schon LIESE (51) für die Schwankung der MHThw angegeben hat. Er setzt sie allerdings noch bis fast zu dem Jahre 2100 fort, dagegen gibt er den Verlauf vor 1840 nicht an. Die Steigung des Kurvenzuges in (51) ist mit 40 cm in 100 Jahren allerdings zu groß, da sich die eigentliche Berechnung, wie oben ausgeführt, auf eine zu kurze Zeitspanne bezieht.

Es liegt nahe, die Schwankung des HThw um die Ausgleichsgerade mit periodischen Schwankungen des Staueffekts in Verbindung zu bringen. Tatsächlich zeigt der Staueffekt, wie er in (13) aus den mittleren Windverhältnissen in dem Raum mit den Eckpunkten Kopenhagen – Utrecht – Bergen für die Zeitspanne von 1849 bis 1950 ermittelt wurde, auch eine ähnliche Schwankung. Ein Minimum scheint um 1885, das folgende Maximum um 1920 vorhanden zu sein. Das Maximum vor 1885 ist jedoch anscheinend erst um 1865 eingetreten und nicht schon wie in Abb. 12 um 1840. Für eine eindeutige Aussage über den Zusammenhang zwischen der Schwankungsperiode des MHThw und dem Staueffekt sind die Ermittlungen noch zu ungenau, und es ist das Datenmaterial wohl auch zu gering. Hier sollte aber der Ansatzpunkt für vorwiegend meteorologisch/historische Forschungen liegen. Interessant ist auch die in (123) festgestellte Tatsache, daß seit Anfang der 50er Jahre in der Norwegischen See, der nördlichen und östlichen Nordsee, der Deutschen Bucht sowie in der mittleren Ostsee eine Zunahme großer Wellenhöhen beobachtet worden ist. Eine Analyse der Windbeobachtungen an verschiedenen Feuerschiffen ergab keine Zunahme der Windstärken während der Beobachtungszeit, sondern einen Wechsel der vorherrschenden Windrichtungen. Die Häufigkeit der Windrichtungen mit langem Fetch (nördliche Winde) hat auf Kosten der Windrichtungen mit kurzem Fetch (westliche Winde) über See infolge von Änderungen der Zirkulation zugenommen. Nach Untersuchungen von LAMB (123) ist ein zweihundertjähriger Zyklus in der Zirkulationsschwankung zu erkennen. Solche periodischen Änderungen der Häufigkeit der Windrichtungen wirken sich nicht nur auf die Wellenhöhen aus, sondern können auch periodische Änderungen des Staueffekts bewirken.

Schließlich soll in diesem Abschnitt 3.3 noch auf die Häufigkeit hoher Thw eingegangen werden. Schon in (66) wird die Vermutung ausgesprochen, daß Häufigkeit und Höhe hoher Thw einer Schwankung unterliegen, die eine Periode von 50 bis 60 Jahren hat. In (53) und (54) wird für den Pegel Wilhelmshaven eine solche Schwankung in der Häufigkeit bestätigt; es ergibt sich ein Häufigkeitsmaximum um 1920 und ein Minimum zwischen 1885 und 1890. LÜDERS schließt daraus auf eine Periode von 60 Jahren, hält den damaligen Untersuchungszeitraum von 1875 bis 1934 aber für zu kurz, um ein sicheres Ergebnis zu erlangen (54). Für die Zeitspanne von 1875 bis 1934 wird in (53) und (54) auch eine Darstellung der Häufigkeit der Sturmfluten in 19jährigen übergreifenden Summen gegeben. Auch diese Ganglinie zeigt eine Schwankung um eine Ausgleichsgerade, die von etwa 77

Die Küste, 30 (1977), 52-143

auf 134 (oder von 4,1 auf 7,1 im Jahr) in der genannten Zeitspanne ansteigt. Als Sturmflut wird dabei ein Thw bezeichnet, das den festen Horizont von 5,38 m a. P. Wilhelmshaven überschreitet. Bezieht man die Sturmfluthäufigkeit auf eine Treppenlinie, deren Steigung der Steigung des MThw in der gleichen Zeitspanne entspricht, so ergibt sich nach (54) auch eine Zunahme der Sturmfluthäufigkeit. LÜDERS schließt daraus, daß der Anstieg der MThw in Wilhelmshaven eine meteorologische Ursache hat, denn es dürfte sich sonst keine Häufigkeitszunahme ergeben, wenn man die Häufigkeiten auf die Linie des säkular ansteigenden MThw bezieht. Auch in (31) wird für Cuxhaven für dieselbe Zeitspanne wie in (54) ein Anstieg der Häufigkeiten hoher Thw festgestellt, und zwar von 8,3 auf 14,4 im Jahr, wenn man NN + 230 cm als festen Bezugshorizont annimmt, und von 5,9 auf 7,1, wenn man die Thw betrachtet, die 120 cm und mehr über der ansteigenden Ausgleichsgeraden der Ganglinie der 19jährigen übergreifenden Mittel des MThw liegen.

Ähnliche Untersuchungen sind auch in (75) und (81) angestellt worden. Es werden in (75) die Häufigkeiten der Wasserstände von 150 cm und mehr über den Ausgleichslinien der Ganglinien der 19jährigen übergreifenden Mittel der MThw von Büsum, Tönning und Husum angegeben. Solche Häufigkeitsbetrachtungen kann man naturgemäß nur anstellen, wenn alle Thw, also sowohl die am Tage als auch die bei Nacht eingetretenen, erfaßt worden sind. Für die untersuchten Zeitspannen, die sich bis 1945/63 erstreckten (Büsum ab 1916/36, Tönning ab 1876/94 und Husum ab 1906/24), ergab sich eine Abnahme der Häufigkeit. Die Abnahme war bei Tönning, wo die längste Beobachtungsreihe vorlag, am geringsten. Für Tönning wurde außerdem die Häufigkeit bezogen auf den festen Horizont von NN + 300 cm ermittelt. Es ergab sich hier, im Gegensatz zu der vorher erwähnten Untersuchung, eine Zunahme der Häufigkeit von im Mittel 2,2 auf 3,9 Thw im Jahr. Die Ganglinien zeigten auch stärkere Schwankungen um die berechneten Ausgleichsgeraden. Schon damals wurde vermutet, daß die Häufigkeitsänderung bei einer längeren Jahresreihe noch geringer sein würde. In (81) wurde diese Vermutung durch eine entsprechende Untersuchung für Cuxhaven bestätigt. Die Ausgleichsgerade der Ganglinie der 19jährigen übergreifenden Mittel der Häufigkeiten der Thw, die das MThw um 150 cm und mehr überschreiten, verlief für die Zeitspanne von 1865/83 bis 1948/65 fast horizontal. Es ergab sich insgesamt eine geringe Abnahme der Häufigkeit (Gefälle der Ausgleichsgeraden) vom Beginn bis zum Ende der Zeitspanne von 3,13 auf 3,06 im Jahr. Die Ganglinie der Häufigkeiten pendelte um diese Ausgleichsgerade. Daß sich in (54) und (31) im Gegensatz dazu auch bei Bezug auf MThw eine Zunahme der Häufigkeit ergab, liegt allein an der dort untersuchten Zeitspanne. Zeitspannen vor 1875 und nach 1934 mit relativ geringen Häufigkeiten waren nicht erfaßt worden. Nach den Untersuchungen in (81) ist festzustellen, daß in den dort betrachteten Zeiten für Cuxhaven praktisch keine Änderung der Häufigkeit hoher Thw und schon gar nicht eine Zunahme festzustellen ist, wenn man die Höhen auf MThw bezieht und nicht auf einen festen Horizont. In (56) wird eine Ganglinie der 5jährigen übergreifenden Mittel der Sturmfluten von Wilhelmshaven für die Zeitspanne 1901 bis 1971 angegeben. Als Sturmtide wird dabei eine Tide bezeichnet, deren Scheitel das jeweilige mittlere Springtidehochwasser um mehr als 25 % des mittleren Springtidehubes überschreitet (MSpThw + 0,25 · MSpThb). Durch diesen Bezug auf das jeweilige MSpThw wird der säkulare Anstieg der mittleren Wasserstände eliminiert. Wie die genannte Ganglinie in (56) zeigt, hat die Anzahl der Sturmtiden in Wilhelmshaven in der Zeit von 1901 bis 1971 im Mittel nicht zugenommen. Die Schwankungen um den Mittelwert von 6,2 Sturmtiden im Jahr liegen zwischen 3 und 10.

Ähnlich wie in Cuxhaven und Wilhelmshaven dürften die Verhältnisse bei allen deutschen Nordseepegeln liegen. In (64) werden die Häufigkeiten von Sturmfluten für die

Zeit von 1901 bis 1973 an den 10 Nordseepegeln List, Hörnum, Husum, Helgoland, Büsum, Cuxhaven, Bremerhaven, Wilhelmshaven, Norderney und Emden untersucht. Es werden hier als Sturmfluten nur solche Tiden gewertet, die für jeden Pegel einen bestimmten, verhältnismäßig sehr hohen Wasserstand überschreiten. Dieser Grenzwasserstand war so gelegt worden, daß die mittlere Häufigkeit der „Sturmfluten" (19jährige übergreifende Mittel) nur zwischen 0,3 und 1,4 im Jahr pendelte. Bei derartig hohen Fluten wirkt sich in der verhältnismäßig kurzen Zeitspanne von 1901 bis 1973 der säkulare Wasserstandsanstieg nicht merklich aus. Die Untersuchungen zeigen, daß um 1920 ein Häufigkeitsmaximum vorlag. Die Häufigkeit fällt dann bei allen untersuchten Pegeln und erreicht ein Minimum, das bei den meisten Pegeln zwischen 1950 und 1955 liegt. Seitdem ist die Häufigkeit überall wieder angestiegen und hat etwa den gleichen Wert erreicht wie zur Zeit des Häufigkeitsmaximums um 1920. Nur in Cuxhaven war 1964 (1955/73) dieser Wert noch nicht wieder erreicht. Interessante Häufigkeitsuntersuchungen für Cuxhaven und Hamburg werden in (96) angestellt. Berücksichtigt werden dort die Sturmfluten, die in Cuxhaven NN + 370 cm und in Hamburg NN + 400 cm überschritten, und es wird der säkulare Anstieg des MThw berücksichtigt. Es wird auch auf die Häufigkeit von Sturmflutserien eingegangen und die stauwirksamste Windrichtung für die Elbe bestimmt. In (113) werden an Hand der Wasserstandsstatistiken von Cuxhaven, Wilhelmshaven und Husum die zeitlichen Änderungen der Wahrscheinlichkeit von Extremfluten an der deutschen Nordseeküste untersucht.

Im folgenden soll noch die Auswertung der neu aufgefundenen Zusammenstellung der HThw von 14′ oder 590 cm a. P. Cuxhaven (= NN + 226 cm) und mehr von LENTZ (86) mitgeteilt werden. Dieser Wasserstand entspricht einer Höhe von 124 cm über dem MThw von 1813, wie er sich nach Abb. 10 ergibt. Die Zusammenstellung wurde bis zum Jahre 1975 ergänzt. Es wurde einheitlich für die gesamte Zeitspanne von 1813 bis 1975 das Kalenderjahr zugrunde gelegt. Abb. 13 zeigt die Ganglinien der übergreifenden 19jährigen Mittel der Häufigkeit. Die nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnete Ausgleichsgerade gibt an, daß die Häufigkeit der Überschreitung des Wasserstandes von NN + 225 cm im Mittel von 6,9 auf 18,2 im Jahr zugenommen hat. Da für die Zeit von 1813 bis 1842 keine vollständigen Wasserstandslisten vorhanden sind, konnte eine Ermittlung der Häufigkeit über MThw für die gesamte Zeitspanne nicht ausgeführt werden. Lediglich für die jüngsten 40 Jahre (1936 bis 1975) wurde die Häufigkeit der Wasserstände ermittelt, die 124 cm oder mehr über der in Abb. 10 dargestellten Ausgleichsgeraden der übergreifenden 19jährigen Mittel der MThw von Cuxhaven in der betreffenden Zeitspanne lagen. Die Häufigkeit schwankt in der Zeitspanne von 1936 bis 1975 zwischen 5,47 und 7,05 im Jahr, sie ist also etwa ebenso groß wie 1822 (1813/31). Im Mittel könnte die Häufigkeit sogar etwas geringer geworden sein, was durch die gestrichelte Linie in Abb. 13 angedeutet wird. Eine leicht fallende Tendenz hat auch die Ausgleichsgerade der Häufigkeit der Wasserstände von 1,50 m und mehr über MThw in (81) für die Zeitspanne von 1873 (1864/82) bis 1957 (1948/66). Die Ganglinie der Häufigkeit über NN + 225 cm in Abb. 13 hat ein ausgeprägtes Minimum um 1955, die Häufigkeit bezogen auf MThw + 124 cm hat ein Minimum um 1950. Seitdem nehmen die Häufigkeiten zu. Das entspricht dem Verhalten der Häufigkeit der Wasserstände über NN + 330 cm und NN + 350 cm, wie es in (64) für Cuxhaven angegeben ist. Die großen Schwankungen um die Ausgleichsgerade der Häufigkeit der Wasserstände von NN + 226 cm und mehr in Abb. 13 entsprechen jedoch nicht den großen periodischen Schwankungen der Ganglinie der MHThw um deren Ausgleichsgeraden in Abb. 12. Um 1875 war zum Beispiel ein Häufigkeitsmaximum, das MHThw lag aber verhältnismäßig niedrig. Auch dem Häufigkeitsminimum um 1855 ent-

Die Küste, 30 (1977), 52-143

spricht in der Ganglinie der MHThw kein Minimum. Dagegen entsprechen die meisten ausgeprägten Zacken in der Ganglinie der MHThw in Abb. 12 den Zacken in der Ganglinie der Häufigkeit von MThw + 150 cm und mehr, die in (81) angegeben ist. In Zeiten mit relativ hohen MHThw wird MThw + 150 cm offenbar auch relativ häufig, in Zeiten mit niedrigen MHThw weniger häufig erreicht oder überschritten.

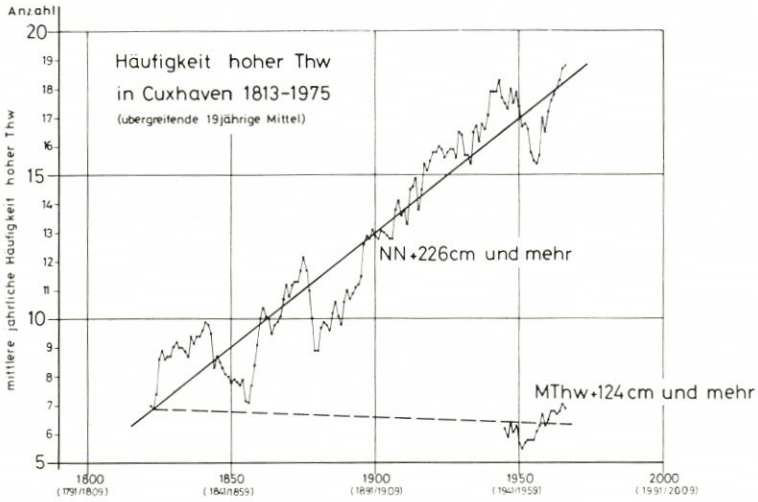


Abb. 13. Häufigkeit hoher Thw in Cuxhaven 1813–1975 (19jährige übergreifende Mittel)

Abschließend läßt sich auf Grund der in diesem Abschnitt geschilderten Untersuchungen feststellen, daß im Mittel die Häufigkeit hoher Fluten, wenn man ihre Scheitelhöhen auf das jeweilige MThw bezieht, nicht zugenommen hat. Die Ganglinie der MThw steigt im Mittel entsprechend dem säkularen Anstieg des MThw an, was auch in (64) festgestellt wird. Das MHThw und die Häufigkeit der hohen Tiden schwanken aber um die Ausgleichsgeraden ihrer Ganglinien. Diese Schwankungen können nur meteorologische Ursachen haben.

3.4 Die Scheitelhöhen der höchsten Sturmfluten seit dem 16. Jahrhundert

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die Veränderung der langjährigen Mittelwerte des MThw für verschiedene Pegel an der deutschen Nordseeküste sowie Höhe und Häufigkeit des Eintretens der HThw betrachtet worden sind, soll sich der Abschnitt 3.4 mit den Scheitelhöhen der höchsten Sturmfluten befassen. Seit an den in dieser Arbeit genannten Orten Pegel bestehen, werden alle Thw registriert, und man kann exakt alle höchsten Scheitelwerte, von einer beliebigen Höhe an, erfassen. Für die weiter zurückliegende Zeit ist man auf die noch bekannten Werte für einzelne Sturmfluten angewiesen, die in den Abschnitten 2.2 bis 2.8 erfaßt worden sind. Dort sind auch die jeweiligen Quellen dafür angegeben. Die einzelnen Höhenangaben wurden in den genannten Abschnitten einer eingehenden Kritik unterzogen, und es wurde festgestellt, welche Höhe als Scheitelwert für jede erfaßte Sturmflut als richtig angenommen werden kann. In die Abb. 14a bis

14h wurden alle Höhen von Sturmflutscheiteln übernommen, die eine bestimmte Höhe über dem heutigen MThw hatten. Diese Grenzhöhe wurde für die verschiedenen Pegel zwischen 225 cm und 255 cm über MThw 1961/70 gewählt. Außer den in den Abschnitten 2.2 bis 2.8 ermittelten Werten wurden in die Abb. 14a bis 14h auch die Sturmflutscheitelhöhen eingetragen, die aus den späteren Pegelaufzeichnungen der betreffenden Orte bekannt sind und über den jeweils gewählten unteren Grenzwerten lagen. Für die einzelnen Pegelorte ergeben sich so Kollektive von Werten, deren Größe und Häufigkeit mit der Zeit zunehmen. Mit zunehmender Zeit sind also immer wieder höhere Sturmflutscheitel aufgetreten. Daß auch die Häufigkeit der Werte entsprechend größer geworden ist, hat zwei Gründe:

1. Es konnten nur relativ wenige Werte aus früherer Zeit erfaßt werden. Eine lückenlose Erfassung ist erst möglich, seit Pegelbeobachtungen vorliegen. Der Zeitpunkt, von dem an Pegelbeobachtungen vorhanden sind, ist für jeden Ort ein anderer.
2. Der säkulare Anstieg des MThw. Eine Sturmflut, deren Scheitel z. B. vor 300 Jahren auf derselben Höhe über NN lag wie eine heutige Sturmflut mit einer Scheitelhöhe von 2,5 m über MThw, hätte damals eine Scheitelhöhe von mehr als 3 m über dem zeitgenössischen MThw gehabt. Die Häufigkeit des Eintretens hoher Sturmflutscheitelwerte nimmt aber mit der Scheitelhöhe über MThw nach einem Potenzgesetz ab, (75), (79) und (86).

Im folgenden sollen die für verschiedene Orte in den Abb. 14a bis 14h aufgetragenen Kollektive hoher Sturmflutscheitelwerte diskutiert werden. Auf allen Abbildungen wurden Begrenzungsgeraden eingetragen, die – abgesehen von Hamburg – bisher noch von keinem Sturmflutscheitel an dem betreffenden Ort überschritten worden sind. Um eine exakte Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden alle derartigen Begrenzungsgeraden nach denselben Gesichtspunkten ermittelt: Es wurden zwei extrem hohe Sturmflutscheitelwerte so durch eine Gerade miteinander verbunden, daß kein Sturmflutscheitel über dieser Geraden liegt. Von mehreren möglichen Geraden wurde diejenige gewählt, bei der die Summe der Abstände von möglichst vielen weiteren Scheitelhöhen extrem hoher Sturmfluten am kleinsten ist.

E m d e n. Es wurden die in Abschnitt 2.2 ermittelten Scheitelhöhen in die Abb. 14a eingetragen. Die Werte nach 1847 wurden vom WSA Emden angegeben. Der untere Grenzwert der verwendeten Wasserstände ist NN + 380 cm, MThw 1961/70 ist NN + 135 cm. Als obere Begrenzungsgerade ist hier nur die Verbindungslinie der Scheitelhöhen der Sturmfluten von 1570 und 1906 möglich, sie hat eine Steigung von 21 cm in 100 Jahren. Die bisher absolut höchste Sturmflut in Emden war die von 1906, eine Sturmflut vom Februar 1944 lag nur wenig niedriger. Die an anderen Stellen der deutschen Nordseeküste als besonders hoch geltenden Sturmfluten von 1717, 1825, 1962 und 1976 liegen zum Teil erheblich unter der Begrenzungsgeraden.

D a n g a s t u n d W i l h e l m s h a v e n. Es wurden die in 2.3 genannten Scheitelwerte von Dangast in Abb. 14b eingetragen und zusätzlich die seit Bestehen des Pegels über NN + 400 cm gemessenen Scheitelwerte. Der Pegel wird erst seit dem 1. 11. 1963 regelmäßig beobachtet. MThw 1963/70 liegt auf NN + 175 cm. Durch die geradlinige Verbindung der Scheitelwerte von 1717/1825, 1825/1962 und 1570/1717 ergeben sich Begrenzungsgeraden, bei denen alle Scheitelwerte darunter liegen. Bei der geradlinigen Verbindung der Scheitel von 1717 und 1825 ist die Summe der Abstände der Scheitelhöhen von der Geraden am kleinsten. Diese Gerade wurde in Abb. 14b eingetragen, sie hat eine Steigung von 28,5 cm in 100 Jahren. Zu berücksichtigen ist bei Abb. 14b noch, daß die in Abschnitt 2.3 ermittelten Scheitelwerte für die weiter südlich des heutigen Pegels am Ende

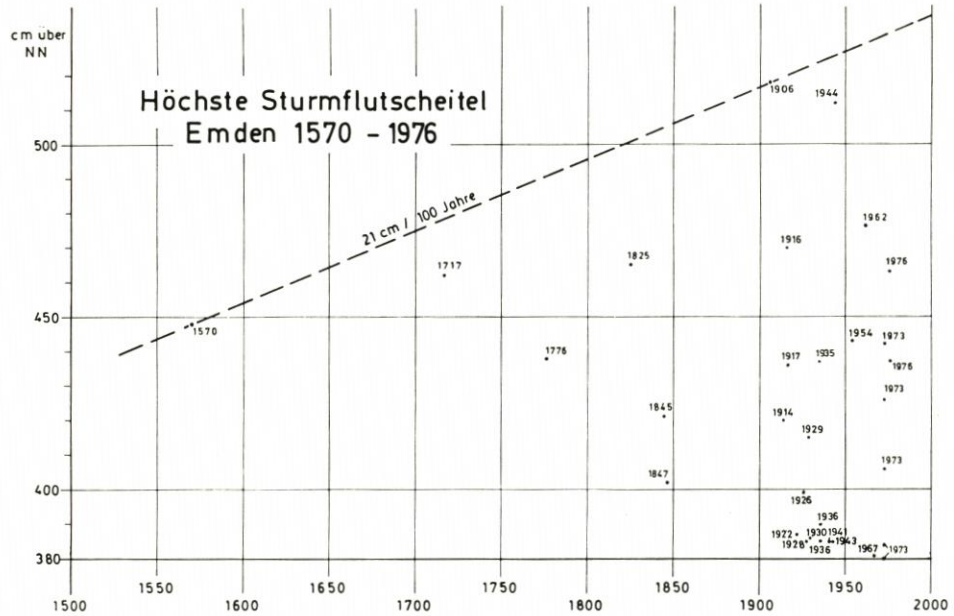


Abb. 14a. Die höchsten Sturmflutscheitel in Emden 1570–1976

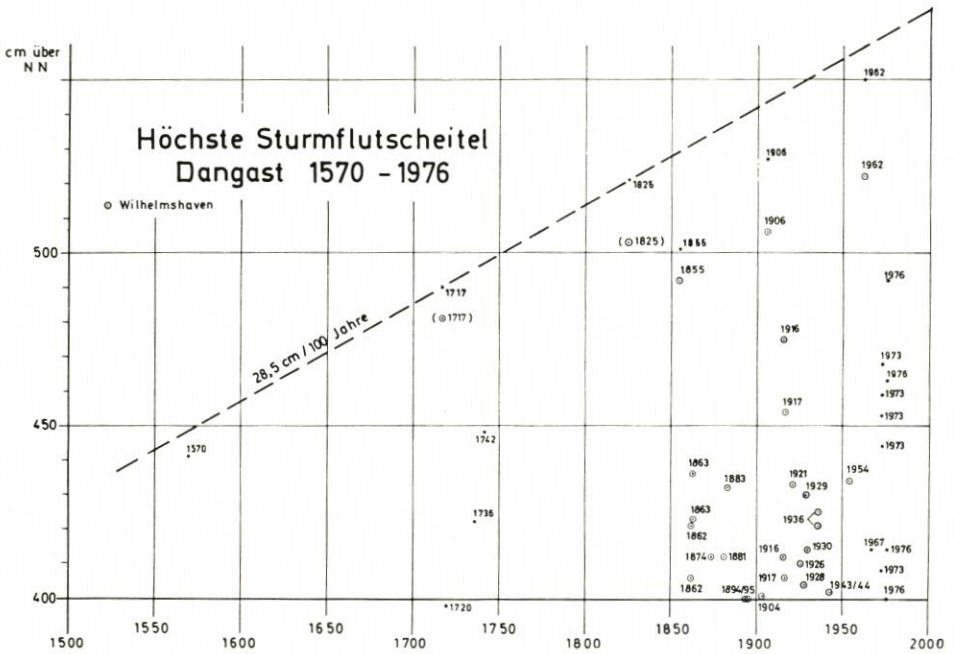


Abb. 14b. Die höchsten Sturmflutscheitel in Dangast und Wilhelmshaven 1570–1976

einer Bucht gelegene Wulfsgast gelten, die Werte nach 1963 dagegen für den neuen Pegel am Dangaster Siel. Der Scheitelwert am 16. 2. 1962 war am Pegel Dangast NN + 520 cm[16]), während er nach (55) für den alten Standort an der Wulfsgast mit dem in Abb. 14b übernommenen Wert von NN + 550 cm ermittelt wurde.

Zum Vergleich sind auch noch die am Pegel Wilhelmshaven von 1855 bis 1962 beobachteten Sturmflutscheitelwerte über NN + 400 cm sowie die Werte für 1717 und 1825 nach (118) eingetragen, letztere eingeklammert, weil es sich um beschickte Werte handelt. Die beobachteten Werte von 1855, 1906 und 1962 liegen auf einer Geraden mit einer Steigung von 28 cm in 100 Jahren, was auch schon in (118) festgestellt wird. Sie entspricht damit fast genau der Steigung der „Begrenzungsgeraden" für Dangast. Zeichnet man dagegen die „Begrenzungsgerade" für Wilhelmshaven unter Einbeziehung der Werte von 1717 und 1825, so hat diese Verbindungsgerade der Werte von 1825 und 1962 nur eine Steigung von 14 cm in 100 Jahren. Wahrscheinlich sind die in (118) für Wilhelmshaven angegebenen Werte für 1717 und 1825 zu hoch.

Bremerhaven. Die in Abschnitt 2.6 genannten Scheitelhöhen wurden in Abb. 14c eingetragen, ebenso die in (66) vor 1900 angegebenen über NN + 420 cm (= GPN + 613 cm). Die nach 1900 über NN + 420 cm eingetretenen Scheitelhöhen wurden von der WSD Bremen mitgeteilt. MThw 1961/70 liegt auf NN + 170 cm. Als Begrenzungsgerade ergibt sich die Verbindungslinie der Scheitelhöhen von 1825 und 1962, sie hat eine Steigung von 22,5 cm in 100 Jahren. Zwischen 1825 oder 1855 und 1962 lag nur der Sturmflutscheitel von 1906 höher als NN + 460 cm, also mehr als 290 cm über MThw 1961/70.

Cuxhaven. In Abb. 14d sind alle in Tabelle 1 für Cuxhaven zusammengestellten Sturmflutscheitel eingetragen, deren Höhe über NN + 380 cm liegt. MThw 1961/70 liegt auf NN + 143 cm. Ab 1787 sind wohl alle derartigen Scheitelhöhen ohne wesentliche Lücken erfaßt worden. Von 1787 bis 1796 sind die für jeden Monat höchsten Thw bekannt, nur 1791 und 1792 lag ein Wert über NN + 380 cm. Auf Grund des Vergleichs mit Hamburg, für das tägliche Wasserstandsangaben von 1786 bis 1807 vorhanden sind, ist es unwahrscheinlich, daß in dieser Zeitspanne in Cuxhaven außer den aufgeführten noch weitere Thw eingetreten sind, deren Scheitel über NN + 380 cm lagen. Ab 1813 beginnt die schon im Abschnitt 3.3 benutzte Zusammenstellung der HThw eines jeden Jahres von Lentz (86), der die Werte über NN + 380 cm entnommen wurden. Es ist möglich, daß in den wenigen Jahren, in denen zwischen 1813 und 1840 das HThw über diesem Wert lag, mehrere Sturmfluten mit einer derartigen Höhe eingetreten sind. Diese wären dann nicht erfaßt worden. Von den Perioden mit besonders großer Sturmfluthäufigkeit, 1824 bis 1825 und 1833 bis 1834, sind allerdings die Höhen von mehreren Sturmfluten in einem Jahr bekannt (Tabelle 1). Von 1841 an sind praktisch alle Thw ihrer Höhe nach erfaßt worden. Die Scheitelhöhen über NN + 380 cm wurden aus Sturmflutlisten entnommen, die bei der WSD Nord – ASt. Hamburg – vorhanden sind. Hierbei wurde berücksichtigt, daß in Cuxhaven ab 1. 11. 1954 PN auf NN — 501 cm und ab 1. 11. 1963 auf NN — 502 cm lag. Die Beobachtungswerte mußten also von 1954 bis 1963 um 1 cm und ab 1963 um 2 cm reduziert werden, um alle Werte einheitlich auf NN zu beziehen.[17])

Als Begrenzungsgerade ergibt sich die Verbindungslinie der Sturmflutscheitel von 1825 und 1976, sie hat eine Steigung von 30 cm in 100 Jahren. Hierbei ist zu beachten, daß der Wert für 1717 nicht auf einer unmittelbaren Beobachtung beruht, sondern durch Ver-

---

[16]) Nach einem Schreiben von Herrn Baudirektor v. Seggern vom 13. 4. 1976.

[17]) Diese Berichtigung ist in manchen Arbeiten nicht vorgenommen worden, daher differieren Wasserstandsangaben für Cuxhaven ab 1954 manchmal um 1 bis 2 cm.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

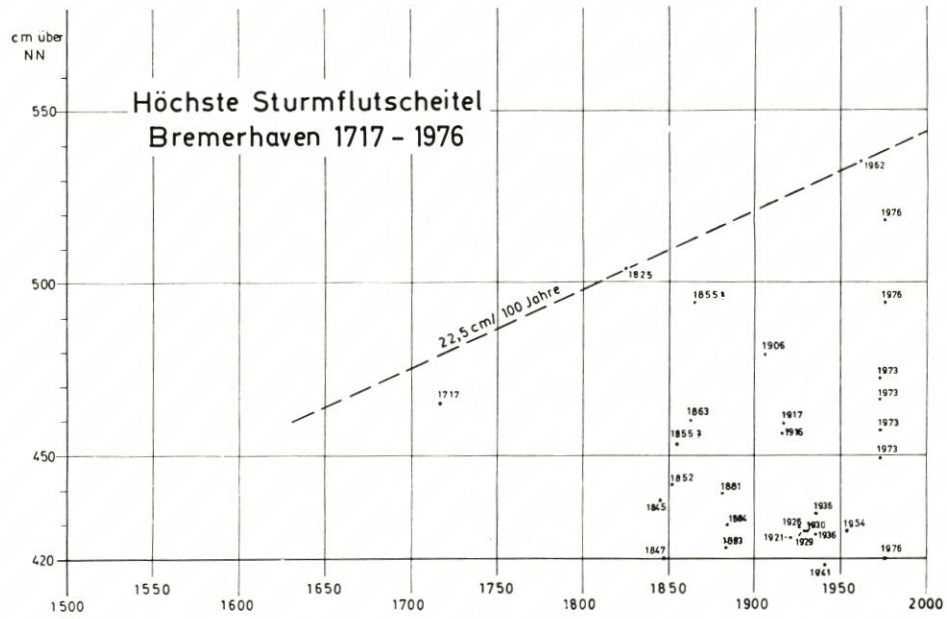


Abb. 14c. Die höchsten Sturmflutscheitel in Bremerhaven 1717–1976

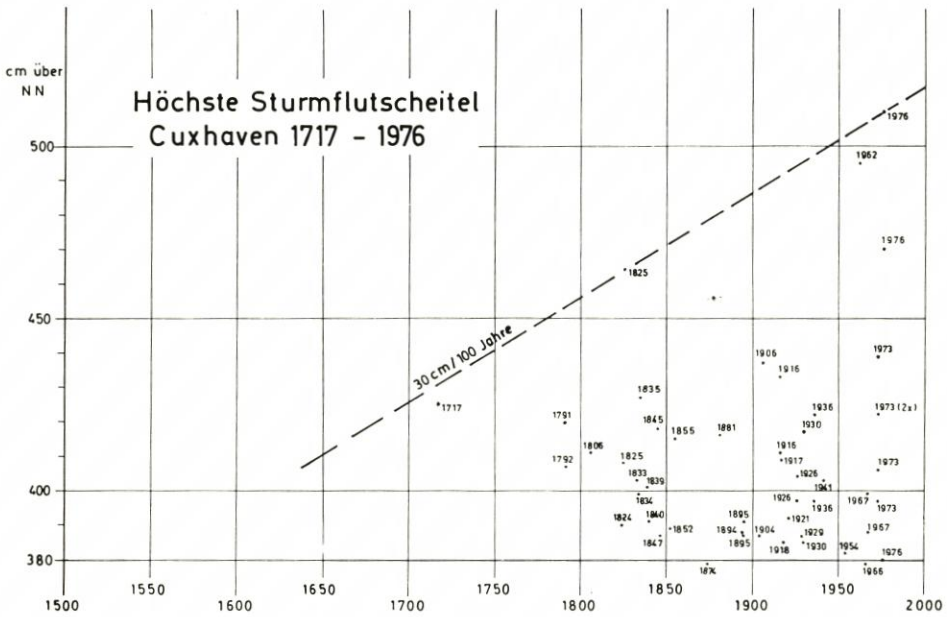


Abb. 14d. Die höchsten Sturmflutscheitel in Cuxhaven 1717–1976

gleich mit anderen Orten ermittelt worden ist (Abschnitt 2.5). Nach Abb. 6 wäre eine Lage des Sturmflutscheitels von 1717 bis zu einer Höhe von NN + 450 cm möglich. Bei einer derartigen Höhenlage würde die Steigung der Begrenzungsgeraden 23 cm in 100 Jahren betragen. Der Sturmflutscheitel von 1962 liegt knapp 11 cm unter der Begrenzungsgeraden. Im Gegensatz zu den Sturmfluten von 1717, 1825 und 1976, die etwa zur Springzeit stattfanden (41), trat die Sturmflut 1962 zwischen der Spring- und der Nippzeit ein. Diese Tatsache wird neben unterschiedlichen Windverhältnissen mit eine Rolle dafür gespielt haben, daß der Sturmflutscheitel 1962 unter der oberen Begrenzungsgeraden liegt. Zwischen 1825 und 1962 lag nur der Scheitel der Sturmflut vom März 1906 mehr als 290 cm über MThw 1961/70 (über NN + 433 cm).

H a m b u r g. Alle in Tabelle 1 für Hamburg zusammengestellten Sturmflutscheitel, deren Höhe über NN + 430 cm lag, sind in Abb. 14e eingetragen. Da nach den Ausführungen in Abschnitt 2.4 zweifelhaft ist, ob für die Zeit von 1661 bis 1777 die in Tabelle 1 aufgeführten Werte richtig sind oder ob diese um 7 cm verringert werden müssen, sind für diese Zeitspanne jeweils zwei Werte eingetragen, der Wert aus Tabelle 1 und ein um 7 cm kleinerer. Es ist möglich, daß zwischen 1661 und 1786 außer den angegebenen Werten noch Sturmfluten mit Scheitelhöhen über NN + 430 cm (MThw 1961/70 = NN + 182 cm) eingetreten sind, die nicht erfaßt wurden. Sehr wahrscheinlich ist das aber nicht, viele Werte können es nicht sein. Von 1786 bis 1807 sind Listen aller am Tage eingetretenen Thw vorhanden und von 1808 bis 1811 die monatlich höchsten Thw (86). Sturmfluten wurden allerdings häufig auch nachts abgelesen. Zwischen 1786 und 1811 dürften daher bis auf geringe Ausnahmen alle Thw über NN + 430 cm erfaßt worden sein. Dasselbe gilt für die Zeit von 1813 bis Anfang 1840: Für die Zeitspannen mit sehr starker Sturmfluthäufigkeit, von 1818 bis 1825 und 1833 bis 1835, sind Beobachtungswerte in der Literatur angegeben. Für die dazwischenliegenden Zeiten läßt sich auf Grund der Angaben von Cuxhaven vermuten, daß Scheitelwasserstände über NN + 430 cm wahrscheinlich nicht aufgetreten sind. Ganz sicher ist diese Aussage jedoch nicht, denn infolge des Oberwasserzuflusses, der in Hamburg bereits eine wesentliche Rolle spielt (83), können Sturmtiden, die in Cuxhaven zu den leichteren gehören, in Hamburg Höhen über NN + 430 cm erreicht haben. Von 1841 an sind praktisch alle Thw ihrer Höhe nach berücksichtigt worden. Die Scheitelhöhen über NN + 430 cm wurden Sturmflutlisten entnommen, die bei der WSD Nord – ASt. Hamburg – vorhanden sind. Die in Abb. 14e zusammengestellten höchsten Sturmflutscheitel von 1661 bis 1976 stellen demnach ein Kollektiv dar, das in dieser Vollständigkeit an der deutschen Nordseeküste einzigartig ist!

In der Darstellung hebt sich deutlich die Zeitspanne von 1855 bis 1962 heraus, in der keine Sturmfluten mit Scheitelwerten über NN + 464 cm (282 cm über MThw 1961/70) auftraten. Hohe Sturmfluten waren in dieser Periode also relativ selten. Bei Betrachtung der Abb. 14e fällt außerdem die völlig extreme Höhe des Scheitels der Sturmflut vom 3. 1. 1976 auf. Bei der Ermittlung der Begrenzungsgeraden soll dieser Wert zunächst unberücksichtigt bleiben. Die Begrenzungsgerade ergibt sich durch geradlinige Verbindung der Sturmfluten von 1962 und 1756. Dabei kann man für 1756 entweder den Wert nehmen, der in Tabelle 1 angegeben ist, oder den um 7 cm niedrigeren. Im ersten Fall hat die Begrenzungsgerade eine Steigung von 25 cm, im zweiten Fall von 28 cm in 100 Jahren. In der Nähe der Begrenzungsgeraden liegen die Scheitelwerte der sehr schweren Sturmfluten von 1663, 1697, 1717, 1751, 1756, 1791, 1792, 1825 und 1962. Bei allen diesen Sturmfluten sind die Deiche im Elbegebiet stark beschädigt worden, und es kam zu großen Überschwemmungen an der Elbe unterhalb Hamburgs und im Hamburger Stadtgebiet. Wie schon in Abschnitt 2.4 erwähnt, wird die Sturmflut von 1663 von dem Tönninger Orga-

Die Küste, 30 (1977), 52-143

nisten (74) für Hamburg höher als 1625 genannt, und er gibt an, wie sehr Hamburg 1625 überschwemmt war. Für 1697 erwähnt er ausdrücklich die starken Beschädigungen der Deiche in den Marschländern, die Deiche im Gebiet der Unterelbe dürften damit auch gemeint sein; auch in (121) werden für 1697 Deichbrüche genannt. 1717, (48) und (67), 1751, 1791, 1792, (74) und (121), und 1825, (61), (2) und (121), werden für das Unterelbegebiet viele Deichbrüche erwähnt. 1756 entstanden allein im Elbdeich der 3. Meile

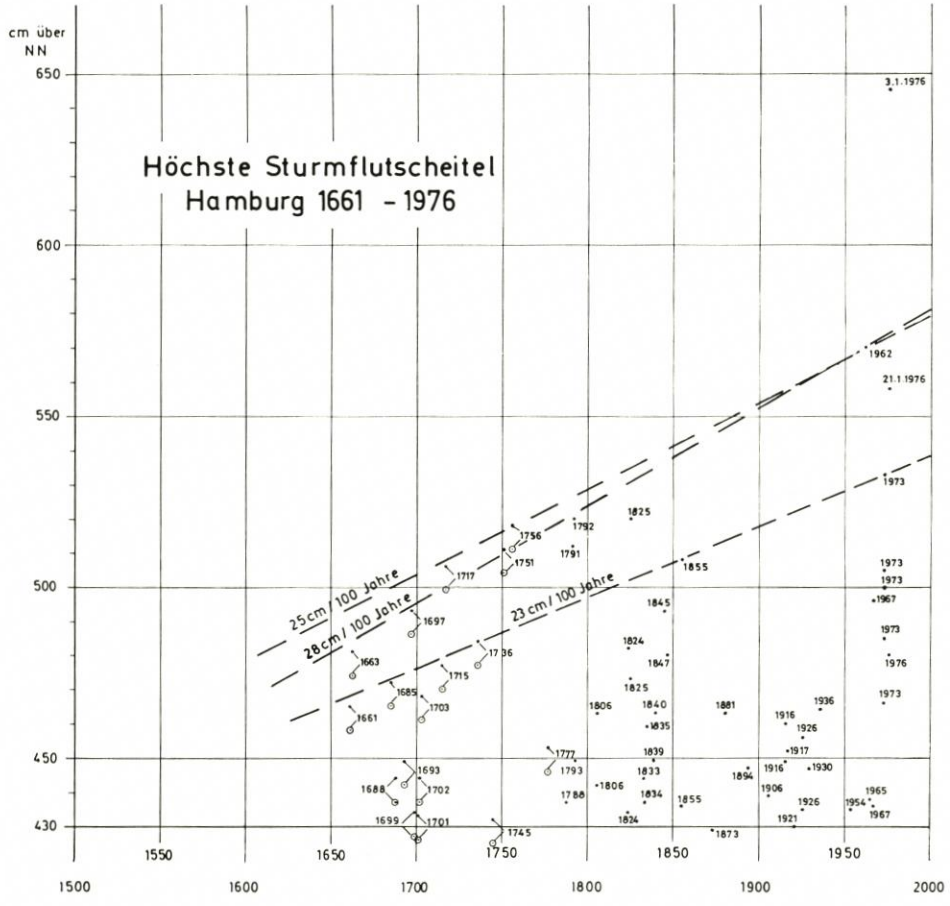


Abb. 14e. Die höchsten Sturmflutscheitel in Hamburg 1661–1976

25 Deichbrüche, im Estedeich 7; Finkenwerder, Wilhelmsburg, Billwerder und Kirchwerder wurden überflutet (121). Daß 1962 besonders das Unterelbegebiet durch riesige Überschwemmungen betroffen wurde, die durch Deichbrüche hervorgerufen waren, ist allgemein bekannt, (22) und (45). Infolge der Deichbrüche und Überschwemmungen ist der Sturmflutscheitel im Februar 1962 in Hamburg mindestens 40 cm niedriger eingetreten, als wenn die Deiche nicht gebrochen und keine Überflutungen eingetreten wären, (93), (96), (84) und (85). Bei den genannten Sturmfluten haben demnach hinsichtlich der Deichbrüche und Überschwemmungen etwa ähnliche Verhältnisse vorgelegen, ihre Scheitelhöhen in Hamburg sind daher einigermaßen miteinander vergleichbar. Eine exakte Vergleichbarkeit ist

natürlich nicht gegeben, da der Einfluß der Deichbrüche bei den einzelnen Sturmfluten unterschiedlich ist.

Ganz anders liegen dagegen die Verhältnisse bei der Sturmflut vom 3. Januar 1976. Diesmal haben im Hamburger Stromspaltungsgebiet die Deiche gehalten, die Überflutungen beschränkten sich auf das Hafengebiet. Auch unterhalb von Hamburg kamen wesentlich weniger Deichbrüche vor als bei früheren hohen Sturmfluten, nur im Gebiet des Krautsandes und in der Haseldorfer Marsch brachen einige Deiche. Diese Deichbrüche traten aber erst zu einem verhältnismäßig späten Zeitpunkt ein, und die überfluteten Flächen waren relativ klein (115), so daß sie eine wesentliche Erniedrigung des Sturmflutscheitels in Hamburg nicht mehr bewirken konnten. Außerdem fand die Sturmflut etwa zur Springzeit statt. In (110) wird die Scheitellinie der Sturmflut vom 3. 1. 76 denen von 1962 und 1825 gegenübergestellt. Man erkennt deutlich bei den Scheitellinien von 1962 und 1825 den Einfluß der Deichbrüche: Ab Glückstadt steigt die Scheitellinie von 1962 wesentlich schwächer an als weiter unterhalb, 1825 fällt sie sogar ab Glückstadt ab.

Wenn man zu dem Wasserstand von 1962 in St. Pauli 40 cm addiert – die nach Modellversuchen ermittelte Wasserstandserniedrigung durch die Deichbrüche von 1962 – und zur Berücksichtigung des säkularen Anstiegs und der Springtide weitere 15 cm zuzählt – um diesen Betrag lag der Wasserstand in Cuxhaven 1976 höher als 1962 –, so erhält man für St. Pauli einen fiktiven Wasserstand von NN + 625 cm. Die Differenz zu dem tatsächlich eingetretenen Scheitelwert von NN + 645 cm wird in erster Linie dadurch bedingt sein, daß Windrichtung und -stärke für die Unterelbe anders waren als 1962. Außerdem dürften auch die verschiedenen seit 1962 ausgeführten Baumaßnahmen — Eindeichungen, Abdämmungen, Sturmflutsperrung von Nebenflüssen, Fahrwasservertiefungen – an der Unterelbe einen Einfluß gehabt haben. Die Vordeichung in Nordkehdingen dürfte für Hamburg zu einer Erniedrigung des Scheitelwasserstandes geführt haben, (95) und (85), die Abdämmung der alten Süderelbe und die Absperrung der Billwerder Bucht zu einer leichten Erhöhung. Örtlich werden die Sturmflutsperrungen der Nebenflüsse den Scheitelwasserstand in der Elbe etwas angehoben haben, bis nach Hamburg dürfte aber dieser Einfluß weitgehend wieder abgeklungen sein. Fahrwasservertiefungen lassen nach den Ausführungen in Abschnitt 3.2 das MThw geringfügig ansteigen, (32) und (83), beeinflussen dagegen die Scheitelhöhe der einzelnen Sturmflut kaum. Durch die Hafenausbauten ist die Erhöhung des MThw infolge der Fahrwasservertiefung so weit kompensiert worden, daß nach Abb. 10 das MThw in Hamburg heute noch nicht höher liegt als es liegen würde, wenn seit dem Ende des 18. Jahrhunderts der säkulare Wasserstandsanstieg stetig 18 cm in 100 Jahren betragen hätte. Die Erhöhung des Scheitelwasserstandes der Januar-Sturmfluten 1976 in Hamburg durch die Einflüsse aller außer den Deichverstärkungen genannten, seit 1962 ausgeführten Baumaßnahmen zusammen wird auf insgesamt 10 cm geschätzt.

Es ist nach den vorstehenden Ausführungen wahrscheinlich, daß alle besonders schweren Sturmfluten vor 1976 mindestens etwa 40 bis 50 cm höher eingetreten wären, wenn keine großräumigen Überschwemmungen infolge von Deichbrüchen eingetreten wären. Die Scheitelwerte der Sturmfluten von 1663, 1697, 1717, 1751, 1756, 1791, 1792, 1825 und 1962, die als die höchsten seit Beginn der Pegelbeobachtungen in Hamburg bekannt sind, würden sich dann gegenüber denen, bei denen tatsächlich nicht in so großem Umfange Deichbrüche eingetreten sind, in Abb. 14e stärker absetzen, wie es ähnlich bei den Scheitelwerten an anderen Orten zu sein scheint (Abb. 14a, 14b, 14d, 14f und 14g). Zeichnet man in Abb. 14e eine Begrenzungsgerade für die Scheitelwerte der Sturmfluten, die wahrscheinlich nur unbedeutend durch Deichbrüche in ihrer Höhe beeinflußt worden sind, so hat

Die Küste, 30 (1977), 52-143

diese Linie, die die Scheitelwerte von 1736, 1855 und vom 7. 12. 1973 verbindet, eine Steigung von 23 cm in 100 Jahren (gestrichelte Linie in Abb. 14e).

T ö n n i n g. In Abb. 14f sind alle in Abschnitt 2.7 ermittelten Sturmflutscheitel eingetragen und zusätzlich die seit 1874 eingetretenen Scheitelwerte über NN + 380 cm (MThw 1961/70 = NN + 154 cm), die das WSA Tönning angegeben hat. Da für die Sturmflutscheitel vor 1825 zwei um jeweils 7 cm auseinanderliegende Werte möglich sind, lassen sich zwei Begrenzungsgeraden zeichnen, die sich als Verbindungslinien der

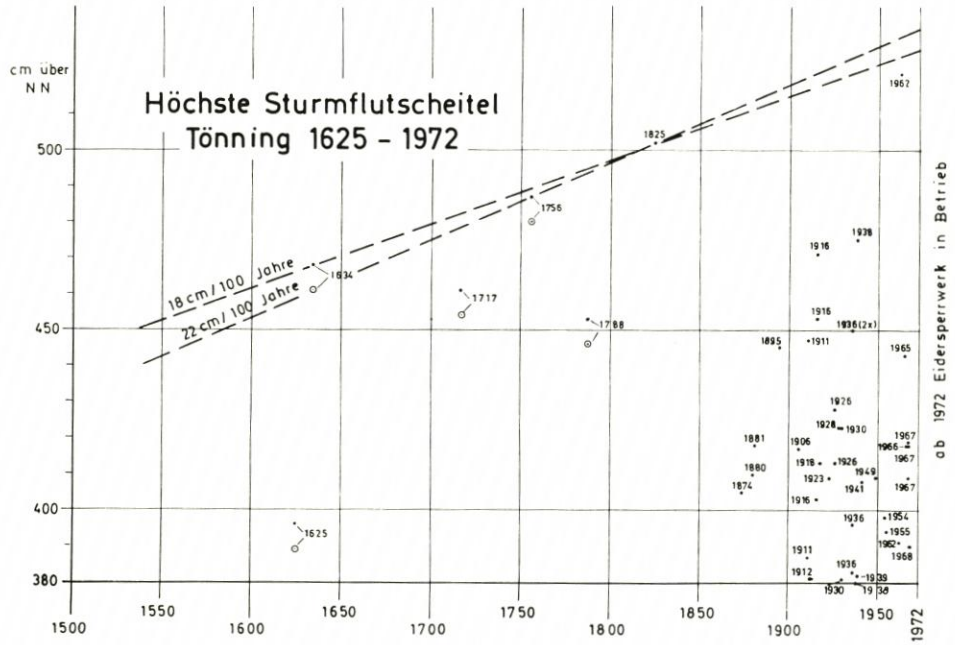


Abb. 14f. Die höchsten Sturmflutscheitel in Tönning 1625–1972

Scheitelwerte von 1634 und 1825 darstellen. Sie haben die Steigung von 18 cm oder 22 cm in 100 Jahren. Aus dem Vergleich mit den entsprechenden Abbildungen für die anderen untersuchten Küstenorte dürfte wahrscheinlich die Linie mit der Steigung von 22 cm in 100 Jahren die Verhältnisse richtig wiedergeben, demnach sind die niedrigeren Scheitelwerte der Sturmfluten vor 1825 wahrscheinlich die tatsächlichen. Der Wert für 1962 liegt unter der Begrenzungslinie. Seine relativ zu niedrige Lage kann darauf zurückzuführen sein, daß die Sturmflut nicht bei einer Springtide, sondern zwischen Spring- und Nippzeit eintrat. Die Zusammenstellung für Tönning endet mit dem Jahre 1972. In diesem Jahr ist das mündungsnahe Eidersperrwerk in der Linie Vollerwiek/Hundeknöll in Betrieb gekommen, wodurch das Einlaufen der Sturmfluten nach Tönning und weiter aufwärts bis Nordfeld verhindert wird.

H u s u m. Alle in Tabelle 3 für Husum enthaltenen Werte sind in Abb. 14g eingetragen, darüber hinaus ab 1868 alle Sturmflutscheitel, die eine Höhe von NN + 410 cm mindestens erreichten (MThw 1961/70 = NN + 154 cm). Die Werte ab 1900 wurden einer Zusammenstellung des WSA Tönning über Sturmfluten entnommen, die Werte von 1868 bis 1900 der Arbeit (60). Für 1717 sind zwei Werte eingetragen, einmal dieselbe

Höhe über NN, wie sie der Scheitel von 1825 hatte und dann der Wert, der sich ergibt, wenn man von der Sturmflutscheitelhöhe 1825 geradlinig rückwärts extrapoliert und dabei einen Anstieg der höchsten Sturmflutscheitel von 34 cm in 100 Jahren annimmt, der dem säkularen Anstieg des MThw (75) in Husum vor 1920 entspricht. Durch die beiden möglichen Werte für 1717 ergeben sich zwei verschiedene Begrenzungsgeraden. Die erste ergibt sich durch Verbindung der Scheitelwerte von 1717 und 1976, die andere ist die Verbindung von dem tiefer angegebenen Wert von 1717 mit den Scheitelwerten von 1825 und 1976. Die erste Gerade hat eine Steigung von 21 cm in 100 Jahren, die andere von 34 cm in 100 Jahren. Wahrscheinlich kommt die Gerade mit der Steigung von 21 cm in 100 Jahren den tatsächlichen Verhältnissen näher als die andere. Der höhere Scheitelwert für 1717 wäre dann der richtige, was auch nach den Ausführungen in Abschnitt 2.8 wahrscheinlich ist. Es ist eher anzunehmen, daß es früher Sturmflutmarken von 1717 in Husum gab und man 1825 feststellte, daß die neue Flut etwa dieselbe absolute Höhe gehabt hat wie die von 1717. Im anderen Fall hätte man den Sturmflutscheitel 1717 auf das damalige MThw beziehen müssen, um 1825 festzustellen, daß die Februar-Sturmflut dieselbe Höhe über ordinärer Flut (= MThw) erreicht hätte wie 1717. Man war damals aber wohl eher geneigt, die absoluten Höhen von Sturmflutscheiteln miteinander zu vergleichen. Daß die Höhenlage der ordinären Flut einem allgemeinen Ansteigen unterliegt, war damals noch nicht allgemein bekannt, sondern allenfalls wenigen Fachleuten, die für den Deichbau verantwortlich waren. Bei Lage des Sturmflutscheitels 1717 auf NN + 509 cm hätte der Windstau allerdings etwa 437 cm betragen. Der nach Abschnitt 2.8 eingetragene Scheitelwert für 1634 ist wohl zu niedrig.

Bei der Scheitelhöhe von 1825 für Husum muß man noch berücksichtigen, daß für ihre Festlegung im Abschnitt 2.8 einige Annahmen getroffen werden mußten, der Wert ist also nicht so sicher, wie entsprechende Werte an anderen Pegelorten sind. Bei einer etwas anderen Höhenlage des Scheitels von 1825 ändert sich die Lage von 1717 entsprechend, und damit erhält die Begrenzungsgerade eine andere Steigung. Wahrscheinlich wird die Steigung der richtigen Begrenzungsgeraden größer als 21 cm in 100 Jahren sein, aber kleiner als 34 cm in 100 Jahren. Der Sturmflutscheitel von 1962 liegt 30 bis 40 cm unterhalb der Begrenzungsgeraden. Das ist darauf zurückzuführen, daß 1962 im Gegensatz zu 1976 keine Springtide vorlag und die Stauwirksamkeit des Sturmes für die Westküste größer war als 1962. Außerdem dürfte 1962 der Sturmflutscheitel in Husum durch Deichbrüche herabgemindert worden sein. Unmittelbar neben der Schleuse Husum, an der sich der Pegel befindet und die am Ende des recht engen Schlauches der Husumer Aue liegt, brach 1962 der Deich des Dockkooges. Einige Kilometer weiter seewärts wurde der Uelvesbüller Koog an der Nordseite von Eiderstedt überflutet (60). 1976 brach dagegen bei Husum kein Deich.

Übriges Nordfriesland. Im Abschnitt 2.8 sind für zahlreiche Orte in Nordfriesland Angaben über die Scheitelhöhen hoher Sturmfluten ermittelt worden, sie sind in Tabelle 3 zusammengestellt. In Abb. 14h sind diese Werte grafisch eingetragen. Wie in Abschnitt 2.8 näher ausgeführt, sind alle Höhenangaben der Sturmfluten vor 1900 verhältnismäßig unsicher. Zudem lassen sich die Sturmflutscheitel der verschiedenen Orte untereinander nicht exakt miteinander vergleichen, da überall noch örtliche Einflüsse vorhanden sind, die die Höhenlage des Sturmflutscheitels beeinflussen. Um für einzelne Orte die Entwicklung der Sturmfluthöhen im Laufe der Jahrhunderte so darzustellen, wie es für die anderen Orte in den Abb. 14a bis g gemacht werden konnte, fehlen für die einzelnen Orte in Nordfriesland exakte Angaben über jeweils mehrere an den betreffenden Orten beobachtete Sturmfluten. Deshalb ist in Abb. 14h eine andere Darstellung gewählt

Die Küste, 30 (1977), 52-143

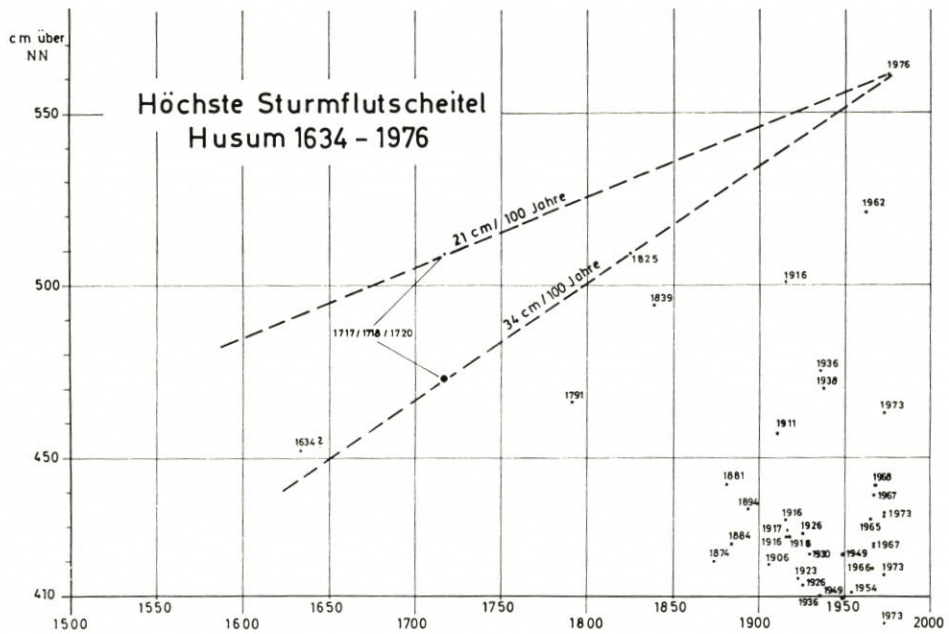


Abb. 14g. Die höchsten Sturmflutscheitel in Husum 1634–1976

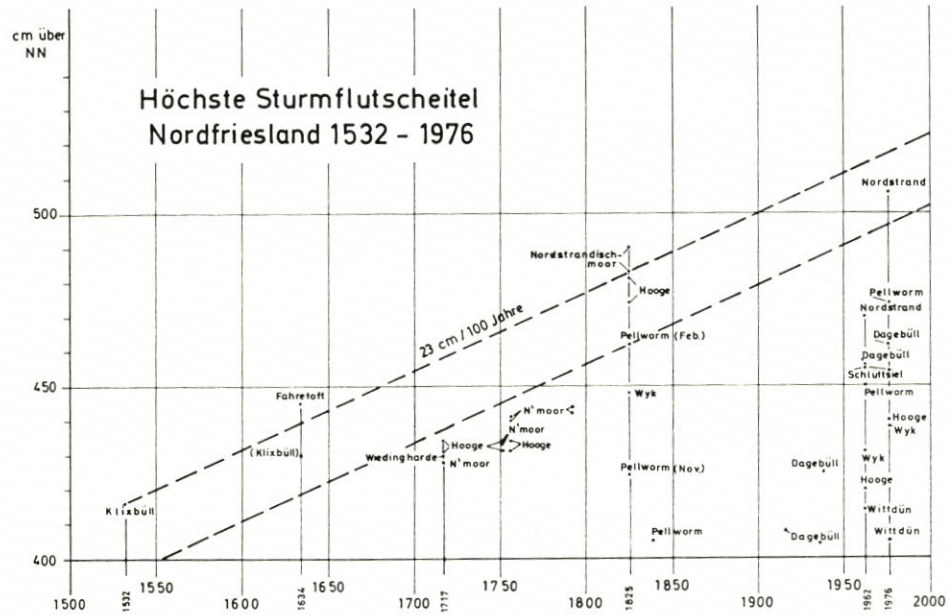


Abb. 14h. Die höchsten Sturmflutscheitel in Nordfriesland 1532–1976

worden als in den Abb. 14a bis g: Es sind nicht die Angaben für einen Ort, sondern die für mehrere Orte aufgetragen. Abb. 14h kann also nur einen allgemeinen Eindruck über die Entwicklung der Sturmflutscheitelhöhen in Nordfriesland vermitteln. Eine „Begrenzungsgerade" wie für die anderen Orte läßt sich nicht zeichnen.

Ausgehend von dem Wert von 1532 für Klixbüll ist zur besseren Orientierung eine Verbindungsgerade zu dem unteren Wert von 1825 für Nordstrandischmoor gezogen worden, sie hat eine Steigung von 23 cm in 100 Jahren. Nur der Wert von Fahretoft für 1634, der aber in der Höhe unsicher ist, liegt oberhalb dieser Geraden. Die Scheitelhöhen der sehr schweren Sturmfluten von 1962 und 1976 liegen zu dieser Geraden – abgesehen von Nordstrand für 1976 – unverhältnismäßig tief. Eine Gerade, die mit 23 cm Steigung durch den Scheitelwert von 1825 für Pellworm gezogen wird, entspricht den mittleren Verhältnissen für Nordfriesland besser. Klixbüll 1532 liegt dabei als Wert an der Festlandsküste relativ hoch, Fahretoft liegt auch mehr am Festland und ist ohnehin etwas unsicher. Hooge 1825 liegt etwas über dieser Linie, was aber durch eine geringe Aufhöhung des Kirchenfußbodens seit 1825 verursacht sein kann. Der ziemlich hohe Wert für Nordstrandischmoor 1825 kann durch die größere Festlandsnähe begründet werden. Die jüngeren Sturmfluten liegen mehr in der Nähe dieser Geraden.

Mit den vorstehenden Ausführungen über Nordfriesland sollte lediglich gezeigt werden, daß die Veränderung der Sturmflutscheitelhöhen in Nordfriesland den Verhältnissen an anderen Orten der deutschen Nordseeküste durchaus entspricht und sich die dort ermittelten Scheitelhöhen der höchsten Sturmfluten seit dem 16. Jahrhundert in die allgemeine Entwicklung einpassen.

Aus den Ausführungen des Abschnittes 3.4 ergibt sich, daß die absolute Höhe der Scheitel der schwersten Sturmfluten im Laufe der letzten 400 Jahre an der gesamten deutschen Nordseeküste immer höher geworden ist. Diese Tatsache geht ganz allgemein auch aus den „Sturmflut-Gedenktafeln" hervor, die an verschiedenen Küstenorten zur Erinnerung und Mahnung aufgestellt worden sind, wie sie als Beispiele Abb. 15 für Dangast[18]) und Abb. 16 für Bremerhaven (87) zeigen. Als obere Begrenzungslinien, die bisher unter vergleichbaren Bedingungen noch von keiner Sturmflut der letzten 400 Jahre an einem Ort der deutschen Nordseeküste überschritten wurden, ergeben sich Geraden mit Steigungen, die an den verschiedenen Orten zwischen 20 und 30 cm im Jahrhundert liegen. Die Steigungen sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Im Mittel beträgt die Steigung der Geraden etwa 25 cm in 100 Jahren. Dieser Wert entspricht etwa dem mittleren säkularen Anstieg des MThw an der deutschen Nordseeküste während der letzten 200 Jahre (Abschnitt 3.2). Hieraus kann gefolgert werden, daß der Anstieg der höchsten Sturmflutscheitel, der seit dem 16. Jahrhundert an der deutschen Nordseeküste mit recht guter Genauigkeit beobachtet werden kann, im wesentlichen auf dem säkularen Anstieg des MThw beruht. Wenn diese Annahme richtig ist, folgt daraus, daß der säkulare Anstieg des MThw an der gesamten deutschen Nordseeküste seit dem 16. Jahrhundert, also seit etwa 450 Jahren, im langjährigen Mittel zwischen 20 und 30 cm in 100 Jahren liegt. Bis etwa zur Mitte des 16. Jahrhunderts ist dann eine geradlinige Extrapolation der Ausgleichslinien der Ganglinien langjähriger Mittelwerte des MThw bei den verschiedenen deutschen Küstenorten an der Nordsee zulässig.

---

[18]) Der Stein ist unmittelbar nach der Sturmflut 1906 bei den anderen Steinen an der Wulfsgast aufgestellt worden. Nach der Wiederaufstellung 1972 am Dangaster Siel ist die Scheitelhöhe von 1962 nachgetragen worden. (Nach Auskunft von Herrn Baudirektor v. Seggern in einem Schreiben vom 13. 4. 1976 an den Verfasser)

Die Küste, 30 (1977), 52-143

In Tabelle 5 sind die Scheitelhöhen der schwersten Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste zusammengestellt, die seit 1570 vorgekommen sind. Es sind die Scheitelhöhen über NN angegeben, wie sie nach den Ausführungen in den Abschnitten 2.2 bis 2.8 und 3.4 als wahrscheinlich anzunehmen sind. Bei den Angaben für Januar 1976 handelt es sich bei Emden um den 4. 1., Dangast um den 21. 1. und den übrigen Orten um den 3. 1. Bei Dangast ist noch zu beachten, daß der Wasserstand von dem Pegel am Siel gemessen wurde und sich nicht wie die Werte für die früheren Sturmfluten auf die Wulfsgast bezieht.

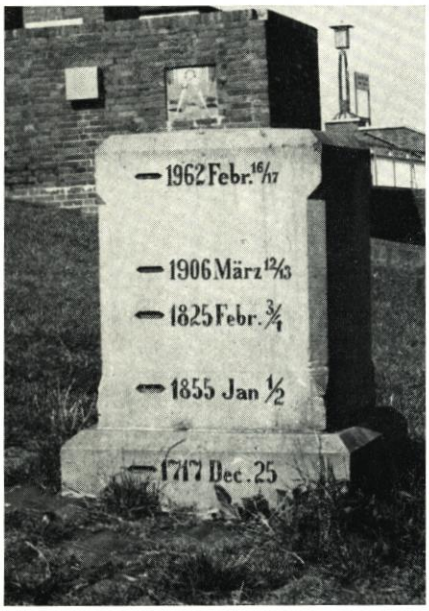


Abb. 15. Sturmflutstein Dangast



Abb. 16. Sturmflutsäule Bremerhaven

Die Höhen für MThw wurden aus den in Abb. 10 dargestellten Ausgleichslinien der Ganglinien der 19jährigen Mittel der MThw entnommen bzw. durch geradlinige rückwärtige Extrapolation dieser Linien bestimmt. Für Dangast wurden die Werte nach (55) für die Höhen über MThw angegeben. Für Bremerhaven wurde für 1976 MThw 1966/75 und für 1962 MThw 1956/65 angesetzt. Zur Ermittlung der früheren MThw wurde von 1956/65 bis 1906 mit einem säkularen Anstieg von 16 cm, von dort bis 1825 mit einem von 20 cm und für die 108 Jahre bis 1717 mit einem von 25 cm rückwärts gerechnet. Es zeigt sich, daß mit Ausnahme von Hamburg 1976 eine Überschreitung des MThw von 450 cm nirgends erreicht wird. Wahrscheinlich sind auch die Werte für Emden 1570, Tönning 1634 sowie Husum 1717 etwas zu hoch: Der Sturmflutscheitel von 1570 für Emden ist nach den Ausführungen in dem Abschnitt 2.2 nicht ganz sicher. Die Steigung der Ausgleichsgeraden nach Abb. 10 ist auch besonders groß. Nimmt man vor 1825 einen säkularen Anstieg des MThw von nur 25 cm an, so erhält man für 1717 392 cm und für 1570 415 cm über MThw. Rechnet man erst vor 1717 mit einem säkularen Anstieg von 25 cm, so lag der Sturmflutscheitel 1570 in Emden 426 cm über MThw. Für Tönning würde der Scheitel 1634 410 cm über MThw liegen, wenn man vor 1717 mit 25 cm säkularem Anstieg rechnet. Auch der säkulare Anstieg von 34 cm für Husum ist reichlich groß. Rechnet man vor

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Tabelle 5

Die Scheitelhöhen der schwersten Sturmfluten der letzten 400 Jahre an der deutschen Nordseeküste, bezogen auf NN und das zeitgenössische MThw. (Zur Ermittlung des zeitgenössischen MThw wurden die Ausgleichsgeraden der Ganglinien in Abb. 10 rückwärts verlängert.)

Sturmflut		Emden	Dangast	Geestemündung/ Bremerhaven	Cuxhaven	Hamburg	Tönning	Husum
1. Nov. 1570	NN	(448)	441					
	MThw	(443)	380					
11. Okt. 1634	NN						461	(452)
	MThw						415	(407)
24./25. Dez. 1717	NN	462	490	(465)	(425)	506	454	509
	MThw	403	384	(347)	(344)	370	382	437
7. Okt. 1756	NN					518	480	
	MThw					376	396	
3./4. Febr. 1825	NN	465	521	504	464	520	502	509
	MThw	365	381	359	358	366	396	400
13. März 1906	NN	518	527	484	437	439	417	419
	MThw	392	362	323	308	278	285	281
16./17. Febr. 1962	NN	476	550	535	495	570	521	521
	MThw	343	367	369	354	394	368	370
Januar 1976	NN	463	492	518	510	645	—	561
	MThw	329	319	348	368	461	—	427

1825 mit nur 25 cm, so ist die Scheitelhöhe 1717 427 cm über MThw und entspricht der von 1976. Die Scheitelhöhe von 1634 würde bei Annahme eines Anstiegs von 25 cm/ 100 Jahre vor 1825 392 cm über MThw liegen, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß die in Abschnitt 2.8 ermittelte Scheitelhöhe von 1634 wahrscheinlich zu niedrig ist. Die Sturmflutscheitel lagen in Husum bei den meisten sehr schweren Sturmfluten relativ hoch über MThw.

Aus Tabelle 5 und den Ausführungen des letzten Absatzes ergibt sich, wenn man von Hamburg 1976 absieht, daß die Sturmflutscheitel der schwersten Sturmfluten an den verschiedenen Orten in der Regel zwischen 350 cm und 400 cm über MThw gelegen haben. 400 cm über MThw ist nur in wenigen Fällen geringfügig überschritten worden (Emden 1570 und evtl. 1717, Tönning 1634, Husum 1717 und 1976). Daraus folgt jedoch lediglich, daß bisher in den letzten 400 Jahren noch keine Wetterlagen aufgetreten sind, die an der deutschen Nordseeküste einen höheren Windstau von maximal etwas mehr als 400 cm über MThw verursacht haben. Es sind natürlich größere Windstauwerte bei anderen Wetterlagen möglich. Der bisher größte Windstau, der allerdings zur Zeit des Tnw eintrat, wurde am 10. 2. 1949 in Husum mit 570 cm ermittelt (89).

Eine weitere interessante Tatsache geht aus Tabelle 5 hervor: Bei den großen Katastrophenfluten 1717, 1825, 1962 lagen die Scheitelwasserstände an allen Orten der deutschen Nordseeküste zwischen 350 cm und 400 cm über MThw. 1570 dürfte es wohl ebenso gewesen sein, es sind nur von den Orten östlich der Jade keine Angaben vorhanden. Bei den Sturmfluten von 1906 und 1976 lagen die Verhältnisse jedoch anders. 1906 trat nur in Emden HHThw auf. Die Höhen des Scheitels über MThw wurden nach Osten immer

Die Küste, 30 (1977), 52-143

geringer. Umgekehrt war es 1976. Die Scheitellage über MThw war zwar überall recht hoch, nahm aber vom Westen nach Osten erheblich zu. Der extrem hohe Wert für Hamburg ist, wie weiter oben näher ausgeführt wurde, auf die besonderen Verhältnisse im Hamburger Stadtgebiet und an der Unterelbe zurückzuführen. Die Sturmfluten von 1906 und 1976 haben daher eine mehr örtliche Bedeutung, während die von 1570, 1717, 1825 und 1962 die gesamte deutsche Nordseeküste betrafen und überall schwerste Schäden hervorriefen.

3.5 Folgerungen

Am Ende der vorangegangenen Abschnitte dieses Kapitels 3 wurden jeweils Folgerungen aus den Ausführungen der betreffenden Abschnitte gezogen. Sie sollen hier nochmals zusammenfassend dargestellt werden.

Mit dem Rückgang des Inlandeises nach Überschreitung des Höhepunktes der Vereisung des Weichselglazials begann ein weltweiter Anstieg des Meeresspiegels, der insgesamt etwa 90 bis 100 m betragen hat. Um 7000 v. Chr. erreichte der Meeresspiegel den Bereich der heutigen Doggerbank. Bis etwa 4000 oder 5000 v. Chr. erfolgte der Anstieg des Meeresspiegels relativ schnell mit Geschwindigkeiten von 1 bis 2 m im Jahrhundert. Auch in dieser ersten Zeitspanne seit dem Höhepunkt des Weichselglazials können Perioden schwächeren und stärkeren Wasserstandsanstiegs miteinander abgewechselt haben. Der weitgehend geradlinige Anstieg, der in den Diagrammen der verschiedenen Autoren zum Ausdruck kommt, kann durch eine noch zu geringe Zahl von Einzelwerten vorgetäuscht sein[19]). Seitdem ist der Wasserstandsanstieg sehr viel schwächer. Der durchschnittliche Anstieg hat nach neuesten Ermittlungen mehrerer Forscher im Gebiet der deutschen Nordseeküste innerhalb der letzten 3000 bis 4000 Jahre zwischen 5 und 10 cm im Jahrhundert betragen. Die Ganglinie des Wasserstandes verläuft aber in den letzten 6000 bis 7000 Jahren nicht gleichsinnig steigend, vielmehr wechseln Perioden einer Wasserstandshebung mit denen eines Stillstandes oder Senkung des Wasserstandes ab. Das gilt besonders für die letzten etwa 4000 Jahre. Man sollte daher mindestens von 2500 v. Chr. an nicht mehr von einer einheitlichen Transgressionsphase sprechen. Die „Flanderische Transgression", die eine Folge des Abschmelzens des Inlandeises des Weichselglazials war, also überwiegend auf der Wirkung des eustatischen Effekts und des Dichteeffekts (Wassererwärmung) beruhte, muß um etwa 2500 v. Chr. als beendet angesehen werden.

Die insgesamt gegenüber der Wasserstandshebung während der „Flanderischen Transgression" sehr viel schwächeren Wasserstandsänderungen von 2500 v. Chr. bis zur Gegenwart sind durch das Zusammenwirken der verschiedensten Effekte verursacht. Ihre Wirkungen addieren sich zum Teil oder heben einander auf. Die Größe der einzelnen Effekte und ihre Relationen zueinander können sich im Laufe der Zeit geändert haben. Am stärksten dürften sich die Effekte auswirken, die dem System Ozean–Atmosphäre angehören, in erster Linie eustatischer Effekt, Dichteeffekt und Staueffekt. Ihre Änderungen sind als Folge von Klimaschwankungen anzusehen, anthropogene Einflüsse auf die großräumige Klimaentwicklung sind für die Zukunft nicht auszuschließen. Die genaue Datierung der einzelnen Hebungs- und Senkungsperioden ist problematisch, was sich aus den angewandten Methoden ergibt. Daher stimmen die Zeitangaben, die für Zeiten vor dem 15. Jahrhundert n. Chr. von den verschiedenen Autoren genannt werden, nicht genau überein.

---

[19]) Schreiben von Herrn Dr. Menke, Kiel, vom 12. 4. 1976 an den Verfasser.

An Hand der Pegelbeobachtungen, die seit fast 200 Jahren in zunehmendem Umfange an der deutschen Nord- und Ostseeküste ausgeführt werden, ist überall ein Anstieg des MThw festzustellen, der bis etwa 1920 zwischen 25 und 35 cm im Jahrhundert lag. Der Anstieg ist seitdem schwächer, er beträgt nur noch zwischen 6 und 12 cm im Jahrhundert. Unterschiede in der Steigung der Ganglinie des MThw lassen sich bei den einzelnen Pegeln auf anthropogene Einflüsse, d. h. Wasserbaumaßnahmen, zurückführen. Insbesondere ist die Wasserstandsentwicklung in den Tideflüssen stark durch die Auswirkung von Wasserbaumaßnahmen beeinflußt. Die Höhenzunahme der jährlich höchsten Thw, wie auch der schwersten Sturmfluten seit der Mitte des 16. Jahrhunderts, geht im Mittel mit dem säkularen Anstieg der MThw parallel. Daraus läßt sich folgern, daß man seit etwa Mitte des 16. Jahrhunderts an der deutschen Nordseeküste mit einem Wasserstandsanstieg rechnen kann, der im Mittel etwa 25 cm im Jahrhundert beträgt.

Die Scheitel der höchsten Sturmfluten seit der Mitte des 16. Jahrhunderts haben bisher in der Regel zwischen 350 cm und 400 cm über dem jeweiligen MThw gelegen. Bei einigen früheren Sturmfluten lagen die Höhen über MThw nach Tabelle 5 zwischen 403 und 447 cm, wenn man die Ausgleichsgeraden der Abb. 10 geradlinig über 1800 hinaus extrapoliert. Es erscheint sinnvoller, zwischen der Mitte des 16. Jahrhunderts und etwa dem Ende des 17. Jahrhunderts nur einen säkularen Anstieg anzunehmen, der zwischen 20 und 25 cm liegt. Hieraus ergibt sich die Vorstellung einer S-förmigen Wasserstandshebung von der Mitte des 16. Jahrhunderts bis zur Gegenwart: schwächerer Anstieg bis etwa 1700, stärkerer Anstieg bis etwa 1920, dann wieder schwächerer Anstieg. Ob der schwächere Anstieg in der Zukunft anhalten wird, ob er sogar in eine Wasserstandssenkung übergeht oder ob der Anstieg wieder stärker wird, muß abgewartet werden. Es wäre leichtsinnig, aus der Entwicklung früherer Zeiten auf eine künftige Absenkung der MThw zu schließen, die allerdings durchaus möglich ist. Sicherheitshalber sollte man mindestens für die nächsten 100 Jahre mit einem allgemeinen Anstieg der MThw in der Größenordnung von im Mittel 25 cm im Jahrhundert rechnen. In dieser Größenordnung wird auch der Anstieg der höchsten Sturmflutscheitel liegen, wenn man davon ausgeht, daß kein größerer Windstau bei einer künftigen Sturmflut auftritt, als er bisher bei den höchsten Sturmfluten beobachtet wurde. Extreme Veränderungen der Topographie und der hydrologischen Verhältnisse durch menschliche Eingriffe müssen in ihrer Wirkung auf die Sturmflutscheitel zusätzlich berücksichtigt werden.

Eine allgemeine Zunahme der Häufigkeit hoher Fluten ist im Mittel nicht erkennbar, wenn man die hohen Fluten auf MThw bezieht. Legt man dagegen einen festen Horizont zugrunde, so nimmt die Häufigkeit hoher Fluten entsprechend dem säkularen Anstieg des MThw ständig zu. Diese Erkenntnis ist natürlich für den Küstenschutz von großer Bedeutung. Ein Ansteigen des MTnw ist allgemein auch festzustellen, es wird aber durch anthropogene Einflüsse wie auch durch natürliche Änderungen der Morphologie der Gewässer stärker beeinflußt, so daß sich zum Teil sogar eine starke Absenkung des MTnw ergibt. Aber auch dort, wo keine anthropogenen Einflüsse erkennbar sind, verläuft der Anstieg des MTnw schwächer als der des MThw. Das dürfte u. a. darauf zurückzuführen sein, daß sich der Einfluß des Staueffektes auf das Tnw weniger auswirkt als auf das Thw.

Als Ursache für den allgemeinen Wasserstandsanstieg der jüngsten Jahrhunderte sind – wenn man von örtlichen anthropogenen Einflüssen absieht – in erster Linie eustatischer Effekt und Dichteeffekt anzusehen, die zeitweise durch Staueffekte moduliert werden. Alle diese Effekte sind eine Folge von Klima- und Wetterschwankungen, die langzeitig sein oder auch eine mittelfristige Periode haben können. Der im vorigen Absatz genannte, vermutlich S-förmige Anstieg des MThw an der deutschen Nordseeküste seit der Mitte

Die Küste, 30 (1977), 52-143

des 16. Jahrhunderts ist möglicherweise in einer allgemeinen Temperaturzunahme innerhalb dieser Zeitspanne begründet und der dadurch bedingten Eustasie (Abschmelzen der Gletscher in Grönland, Nordamerika und den Alpen) sowie der Erwärmung des Nordpolarmeeres. Die zweite Hälfte des 16. Jahrhunderts ist tatsächlich durch besonders niedrige Temperaturen gekennzeichnet, manche Klimatologen sprechen von einer „Kleinen Eiszeit" (21). Der Vergleich der ersten Temperaturmessungen im nördlichen Polarmeer von F. NANSEN mit den folgenden Messungen in den 30er Jahren dieses Jahrhunderts lassen einen größeren Anstieg der Wassertemperaturen erkennen, als er in den späteren Jahren festgestellt wurde (73). Daraus kann man vielleicht auf eine Zunahme des eustatischen Effekts für die Zeit vor 1920 und eine Abschwächung nach 1920 schließen (81). In der Ganglinie der 19jährigen übergreifenden Mittel der HThw, deren Anstieg allgemein dem säkularen Anstieg der MThw entspricht, macht sich eine Schwankung mit einer Periode von 50 bis 80 Jahren bemerkbar, die wahrscheinlich ihre Ursache in periodischen Schwankungen des Staueffektes hat. Danach besteht gegenwärtig eine Periode der Zunahme des Staueffektes. Die relativ zum langjährigen Mittelwert große Sturmfluthäufigkeit und die größeren Scheitelhöhen der Sturmfluten in den letzten Jahren dürften darauf zurückzuführen sein. Langfristig ist auch eine Änderung des Wasserstandes durch eine Veränderung des „Gezeiteneffekts", also der Änderungen der Bahnelemente von Erde, Mond und den Planeten, nicht auszuschließen, wie sie von LIESE (52) vermutet wird. Der Einfluß wird jedoch im Verhältnis zu den anderen Faktoren wahrscheinlich nur gering sein. Es ist aber nicht auszuschließen, daß andere Effekte dadurch zeitweise verstärkt werden können.

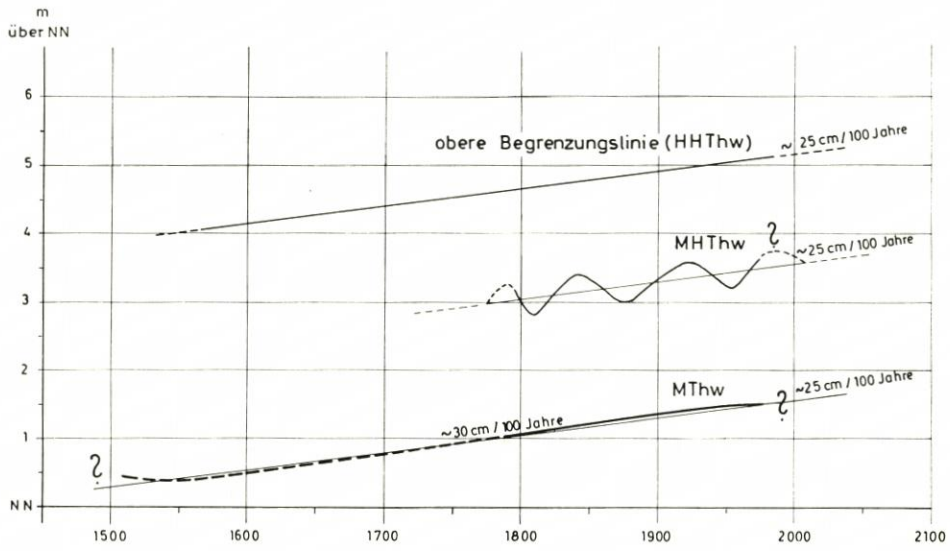


Abb. 17. Wasserstandsentwicklung an der deutschen Nordseeküste seit dem 16. Jahrhundert

In Abb. 17 ist die Wasserstandsentwicklung an der deutschen Nordseeküste seit dem 16. Jahrhundert, wie sie sich aus den vorstehenden Ausführungen ergibt, grafisch dargestellt. Die Höhenangaben entsprechen etwa denen für Cuxhaven.

Aus den vorstehenden Ausführungen ergibt sich, daß man allenfalls von der Mitte des 16. Jahrhunderts an mit einem Anstieg des MThw an der deutschen Nordseeküste von im Mittel 25 cm im Jahrhundert rechnen kann. Die Zulässigkeit einer weiteren rückwärti-

gen geradlinigen Extrapolation ist nicht nachzuweisen. Da nach den Ausführungen in Abschnitt 3.1 von 2500 v. Chr. bis zur Gegenwart der mittlere säkuläre Anstieg nur zwischen 5 und 10 cm betragen hat, müssen zwischen 2500 v. Chr. und 1550 n. Chr. Zeiten von Wasserstandshebungen mit solchen einer Wasserstandssenkung oder einem längeren Stillstand gewechselt haben. Wann diese Perioden im einzelnen gewesen sind und wie groß Hebungs- und Senkungsbeträge waren, sollte das Ziel weiterer Forschungen sein. Geologische und archäologische Befunde müssen mit Hilfe der Radiocarbonmethode und der Pollenanalyse zeitlich eingeordnet werden. Bei der höhenmäßigen Festlegung muß berücksichtigt werden, welche Sackungen und Setzungen stattgefunden haben können. Schließlich ist auch noch zu berücksichtigen, wie der betreffende Ort zur damaligen Küstenlinie gelegen hat. Eine eventuell eingetretene Veränderung der Topographie und der Morphologie muß hinsichtlich ihrer möglichen Auswirkung auf die Wasserstände betrachtet werden. In diesem Zusammenhang sollen im folgenden die Angaben von BANTELMANN (4) diskutiert werden, die über die Lage des MThw in weiter zurückliegenden Zeiten für Eiderstedt (Tönning) und Nordfriesland (Südfall) gemacht werden.

Nach dem Grabungsbefund beim Elisenhof lag um 800 n. Chr. MThw dort etwa auf NN + 60 cm. Durch Extrapolation der Ausgleichslinie in Abb. 10 für Tönning ergibt sich, daß um 1675 das MThw ebenfalls diese Höhe gehabt haben wird. Es wäre natürlich falsch, anzunehmen, der Wasserstand habe sich von 800 bis 1675 nicht geändert. Sehr wahrscheinlich ist der Wasserstand sogar um 1550 noch niedriger gewesen. Es werden also zwischenzeitlich andere Veränderungen des Wasserstandes stattgefunden haben. Die Tendenz derartiger Änderungen läßt sich aus den topographischen und morphologischen Änderungen ableiten. Um 800 lag das Gebiet um Tönning in größerer Entfernung von der Küste als heute, die Küste verlief weiter westlich. Das geht aus den geologischen Untersuchungen von DITTMER, (14) und (15), wie auch aus den sicher im einzelnen angreifbaren kartografischen Darstellungen von MEJER, (11) und (78), hervor. Im Bereich von Tönning war damals die Eider wahrscheinlich ein relativ enger und gewundener Flußschlauch. Die Tidebewegung dort entsprach den Verhältnissen, wie sie im oberen Tidegebiet eines kleineren Tideflusses nicht weit unterhalb der Tidegrenze auch heute anzutreffen sind: geringer Tidehub, starkes Gefälle der MThw-Linie zum Mündungsgebiet hin. Dazu kommt noch, daß das gesamte Land von einem Netz schmaler Wasserläufe durchzogen war, das auf die Tidebewegung stark bremsend wirkte (78). Bei einer Lage des MThw bei Tönning von NN + 60 cm kann das MThw an der vielleicht 20 km weiter westlich gelegenen Küste einige Dezimeter tiefer gelegen haben. Dann erfolgte irgendwann, wahrscheinlich im 13. oder 14. Jahrhundert im Zusammenhang mit einer Verlegung der Küstenlinie nach Osten als Folge mehrerer schwerer Sturmfluten, der Einbruch der trichterförmigen Mündung der Eider (78). Das Gebiet um Tönning kam unter einen völlig anderen Tideeinfluß. Es lag jetzt an der Trichtermündung eines Flusses, der Tidehub dort war größer als vorher im Bereich der Tidegrenze, das MThw sank etwa auf die Höhe des MThw an der Nordseeküste ab. Ob zwischen 800 und 1300 sowohl bei Tönning als auch an der Küste eine säkulare Hebung oder Senkung des MThw stattgefunden hat, ist dabei ohne Bedeutung. Es ist möglich, daß das MThw zur Zeit der Ausbildung der Trichtermüdung der Eider dort wie überhaupt an der deutschen Nordseeküste säkular bis zum 16. Jahrhundert absank, denn nach (21) fällt diese Zeit in die weltweite Paria-Regression. Seit der Mitte des 16. Jahrhunderts hat dann die gegenwärtig noch andauernde Hebung des MThw eingesetzt.[20])

[20]) Diese Entwicklung wird bereits 1967 in einer unveröffentlichten Studie des Verfassers geschildert.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

Mit dem Ansteigen des MThw seit dem 16. Jahrhundert drang die Tide weiter eideraufwärts vor, bis die Tidegrenze am Ende des 17. Jahrhunderts Rendsburg erreichte. Mit der Verstärkung der Tidebewegung und dem Anstieg des MThw in der Eider gingen die Bedeichungen und die Abschleusungen von Nebenflüssen (Treene und Sorge) parallel (78). Um 1800 betrug der Tidehub bei Rendsburg bereits 75 cm.

Für das Gebiet um die Hallig Südfall ist die Höhe der Landoberfläche im 14. Jahrhundert mit NN – 85 cm einwandfrei nachgewiesen (4). Für dieselbe Zeit wird dort MThw mit NN – 44 cm angegeben. Diese Angabe geht auf A. Busch (8) zurück, der einen säkularen Anstieg von 30 cm annimmt und damit 600 Jahre rückwärts bis zur Mitte des 14. Jahrhunderts (1362) rechnet. Daraus ergibt sich der Anstieg von 180 cm, der in (4) angesetzt ist. Wie aus den Ausführungen der vorliegenden Arbeit hervorgeht, ist eine derartige Extrapolation aber ohne weiteren Nachweis nicht zulässig. Weder aus der Lage der alten Landoberfläche bei Südfall noch aus der Höhenlage des Drempels der „Rungholtschleuse", (8) und (4), läßt sich mit Sicherheit auf die Höhe des MThw an der Nordseeküste zur damaligen Zeit schließen. Dazu muß man die Lage des betreffenden Gebietes zur Küste genau kennen. Aus der Lage des Drempels der Rungholtschleuse auf NN – 130 cm kann man lediglich folgern, daß das MTnw in dem Vorfluter, in den sie entwässerte, tiefer gelegen haben wird. Alle weiteren Angaben, denen keine zusätzlichen Daten über die Entfernung zur Küste, den Tidehub, die Vorflutverhältnisse und die Höhe des Thw an der Küste zugrunde liegen, sind nur Mutmaßungen.

In den folgenden Ausführungen soll versucht werden, für eine wahrscheinliche Wasserstandsentwicklung an der Nordseeküste für die Zeit vor 1550 bis zurück ins erste nachchristliche Jahrtausend Hinweise zu geben. Wenn nach den Ausführungen weiter oben um 1550 ein Wasserstandsminimum an der deutschen Nordseeküste vorhanden gewesen ist, so muß vorher der Wasserstand abgesunken sein. Damit steht im Einklang, daß zu dieser Zeit eine allgemeine Regressionsphase (Paria-Regression) vorlag. Dieser ging wieder eine Transgressionsphase (Rottnest-Transgression) (21) voraus, die etwa bis zum Jahre 1000 n. Chr. andauerte. Zwischen 1000 und 1200 muß demnach die säkulare Ganglinie des MThw an der deutschen Nordseeküste ein Maximum gehabt haben, mit relativ geringen Wasserstandsänderungen innerhalb mehrerer Jahrzehnte vorher und nachher. Mit einer solchen Wasserstandsentwicklung lassen sich siedlungsgeschichtliche Befunde im deutschen Nordseeküstengebiet in Einklang bringen. In der Zeit vor 1000 n. Chr. stieg der Wasserstand an, die Flachsiedlungen auf der Marsch mußten aufgehöht werden: Warfen entstanden, die allmählich höher wurden, wie z. B. in Tofting (3) und später am Elisenhof (4), aber auch an vielen Orten in Ostfriesland und Oldenburg (91).

Solange der Meeresspiegel anstieg, mußte sich der Tideeinfluß in den Prielen, die das unbedeichte Marschland durchzogen, ebenso wie in den Küstenflüssen verstärken. Die großen Priele dürften dadurch an Breite und Tiefe allmählich zugenommen haben. Bei den damaligen geringen technischen Mitteln war es ausgeschlossen, in dieser Situation das gesamte Land durch Deiche zu schützen. Das konnte erst Aussicht auf Erfolg haben, als die Priele sich nicht mehr erweiterten oder sogar schrumpften. Eine solche Situation ist bei einem langsamen Absinken des Meereswasserspiegels zu erwarten, wie er nach den Ausführungen weiter oben seit dem 11. Jahrhundert angenommen werden kann. Das gilt sowohl für ein etwas küstenferneres Gebiet wie an der Eider beim Elisenhof (Tönning) als auch für die unmittelbare Meeresküste. Tatsächlich setzen gerade in dieser Zeit überall an der deutschen Nordseeküste umfangreiche Bedeichungen ein. Diese zunächst bescheidenen Erdwälle gewährten Schutz gegen Sturmfluten, die wegen des sinkenden MThw grundsätzlich auch abnehmende Scheitelhöhe gehabt haben dürften. Durch die Bedei-

chung wurden auch viele kleine Priele abgedämmt, zahlreiche Inseln wurden „zusammengedeicht", größere, zusammenhängende Landgebiete entstanden. In den noch verbleibenden größeren Prielen und in den Flüssen wird dadurch die Tidebewegung stärker geworden sein, der Tidehub wurde größer und die Tidegrenze stromaufwärts verschoben. Das von See her bei Sturmfluten eindringende Wasser konnte sich nun nicht mehr über das verzweigte Prielsystem über das ganze Land ausbreiten, es drängte sich in den wenigen großen Tidewasserläufen zusammen, so daß bei Sturmfluten auch höhere Scheitelwasserstände als vorher eintreten konnten. Dieser stärkeren Belastung hielten manche der schwachen Deiche nicht stand, Deichbrüche waren die zwangsläufige Folge.

Die Überschwemmung nach einem Deichbruch ist aber ein viel schwerwiegenderes Ereignis als die allmähliche Überflutung eines unbedeichten Landes. Menschen und Vieh sehen das Wasser im unbedeichten Land allmählich kommen, sie können sich auf hochliegende Flächen zurückziehen. Bei einem Deichbruch tritt die Überflutung plötzlich ein, und sie trifft auf Menschen, die weniger vorbereitet sind, die sich vielmehr hinter ihrem Deich verhältnismäßig sicher gefühlt haben. So kam es dann zu Flutkatastrophen mit großen Verlusten an Menschenleben, Vieh und Sachgütern. Wenn man die Deiche nicht bald wiederherstellte, konnte die nächste Sturmflut den Schaden noch vergrößern, die Priele ausweiten, und es konnten dauernde Landverluste entstehen. Daß trotz des nach dem Jahre 1000 allmählichen Absinkens des Meeresspiegels dauernde Landverluste bei eingedeichten Ländern nach Deichbrüchen zu verzeichnen sind, liegt auch mit an der Nutzung des bedeichten Landes. Während in der unbedeichten Marsch nur Viehwirtschaft möglich war, das Land überall eine Grasdecke hatte, konnte man im bedeichten Koog auch Ackerbau treiben. Bei einer Überflutung infolge eines Deichbruches konnte der Ackerboden leichter erodieren. Für den Ackerbau wird außerdem eine tiefere Entwässerung benötigt, die erst nach der Bedeichung und dem Bau von Sielen möglich war. Durch die schärfere Entwässerung sackte der Marschboden stärker zusammen, und die Oberfläche des eingedeichten Landes konnte trotz gleichzeitiger säkularer Absenkung des MThw der Nordsee unter MThw gelangen. Verstärkt wurde das Absinken der Landoberfläche in Nordfriesland noch durch den Abbau von Torf als Brennmaterial, der aber auch wegen seines hohen Salzgehaltes zur Salzgewinnung genutzt wurde, (15) und (4).

Diese Ausführungen machen verständlich, warum trotz des Absinkens des mittleren Meereswasserspiegels seit dem 11. Jahrhundert gerade in der Zeit von 1100 n. Chr. bis zum Ende des 14. Jahrhunderts sehr schwere Sturmflutkatastrophen mit erheblichen, bleibenden Landverlusten an der deutschen Nordseeküste eingetreten sind. Im 15. und im 16. Jahrhundert haben die Sturmfluten nicht mehr so schwere, dauernde Landverluste gebracht wie in den Jahrhunderten davor. Die Ursache kann darin liegen, daß nach den Katastrophenfluten des 14. Jahrhunderts nur die verhältnismäßig sicheren Gebiete übriggeblieben waren, hochliegende Flächen, vielleicht mit besonders widerstandsfähigem Boden, die vorwiegend als Weide genutzt wurden. Außerdem konnten die Sturmfluten bei gleichen Wetterbedingungen wegen des noch sinkenden Meeresspiegels nicht dieselbe Höhe ereichen wie im 14. Jahrhundert. Die Küstenbewohner nahmen von nun an die Landverluste nicht mehr tatenlos hin. Sie gingen ihrerseits zum Angriff über und versuchten einen Teil des ihnen entrissenen Landes zurückzugewinnen. Man hat daher das Jahr 1362, das – vielleicht mehr symbolisch – als Höhepunkt der Landverluste durch Meereseinbrüche angesehen wird, zugleich als Geburtsjahr der Landgewinnung bezeichnet (15). Tatsache ist, daß vom 15. Jahrhundert an überall an der deutschen Küste Wiederbedeichungen in Angriff genommen worden sind. Inzwischen waren auch die technischen Mittel besser geworden, so daß man trotz des im 16. Jahrhundert wieder einsetzenden Anstiegs des Meeresspiegels das Land

Die Küste, 30 (1977), 52-143

mit immer stärkeren Deichen vor den Sturmfluten schützen und sogar weitere Neueindeichungen vornehmen konnte.

Die vorstehenden Ausführungen sind noch keine wissenschaftlich exakten Feststellungen, sie sind mehr als Arbeitshypothese zu werten. Allein die kritische Auswertung zahlreicher weiterer Einzelbefunde von Wasserspiegelhöhen der Küstengewässer aus der Zeit vor 1550 sowie die Bestimmung von Klimadaten aus derselben Zeit kann die Hypothese zur Theorie erhärten.

4. Schlußbetrachtung

Im Kapitel 2 der vorliegenden Arbeit wurden alle bekannten Angaben über die Höhenlage der Scheitel der sehr schweren Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste erfaßt und kritisch gewertet. Im Kapitel 3 wurde versucht, die Wasserstandsentwicklung insgesamt darzustellen. Es war das Ziel, alles Bekannte über die Wasserstandsänderungen der jüngsten Jahrhunderte an der deutschen Nordseeküste nach dem heutigen Wissensstande zusammenzustellen, dabei auch eine Wertung des neu aufgefundenen alten Datenmaterials über Wasserstandsbeobachtungen zu geben und die Ergebnisse der Wasserstandsbeobachtungen der jüngsten Zeit zu berücksichtigen. Es wurden auch die im Kapitel 2 ermittelten Angaben über die Scheitelhöhen der höchsten Sturmfluten verwendet. Um die Entwicklung in der jüngsten Zeit in einem größeren Rahmen zu sehen, mußte in großen Zügen auch auf die Entwicklung seit dem Ende der Weichseleiszeit eingegangen werden, wie sie sich nach dem derzeitigen Wissensstande darstellt. Es konnte gezeigt werden, daß man seit der Mitte des 16. Jahrhunderts einen Wasserstandsanstieg an der deutschen Nordseeküste von im Mittel 25 cm im Jahrhundert annehmen kann, der im wesentlichen durch den eustatischen Effekt bedingt ist. Schwankungen von kürzeren Perioden innerhalb der Zeitspanne vom 16. Jahrhundert bis zur Gegenwart beruhen wahrscheinlich vorwiegend auf Veränderungen des Staueffektes. Um hier Einzelheiten zu klären, bedarf es noch intensiver Forschungen, insbesondere auf dem Gebiete der historischen Klimatologie wie überhaupt der Klimatologie und der Meteorologie.

Es konnte weiter gezeigt werden, daß es nicht zulässig ist, einen geradlinigen Verlauf der Wasserstandsentwicklung mit einer Steigung von durchschnittlich 25 cm im Jahrhundert vor der Zeit um 1550 anzunehmen. Von etwa 2500 v. Chr. bis 1550 n. Chr. ist die Wasserstandsentwicklung sehr unterschiedlich verlaufen. Perioden von Hebungen haben solche von Absenkungen abgelöst und umgekehrt. Der Versuch wurde unternommen, für die Zeit von 1550 bis etwa zur Mitte des 1. Jahrtausends n. Chr. Hinweise für eine mögliche Wasserstandsentwicklung zu geben. Es bleibt hier noch ein weites Feld für die Forschung. Trotz der zahlreichen Arbeiten, die auf dem Gebiete bisher erschienen sind, läßt sich noch kein verläßliches Bild von der Entwicklung der Wasserstandsverhältnisse seit der Zeit von etwa 2500 v. Chr. an zeichnen. Das ist deshalb so schwierig, weil so viele verschiedene Faktoren zu berücksichtigen sind. Zwischen den zwar inzwischen verhältnismäßig zahlreichen einzelnen Punkten läßt sich bisher noch keine eindeutige Wasserstandsganglinie zeichnen. Das Problem ist nur durch eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit zu lösen. Geologie und Archäologie können die Befunde liefern. Mit Hilfe der Radiocarbonmethode und der Pollenanalyse (Physik und Biologie) sowie der Geschichtswissenschaft lassen sich Zeitbestimmungen vornehmen, wobei die Bodenmechanik Hinweise über das Setzungsverhalten bindiger Böden liefern kann. Geograph, Geodät, Hydrologe und Wasserbauingenieur müssen die Befunde und die Zeitangaben hinsichtlich der Entwick-

lung der Küstengestalt und der dadurch bedingten Auswirkungen auf den Wasserstand kritisch werten. Schließlich ist alles im Rahmen großer klimatologischer und ozeanographischer Entwicklungen zu betrachten.

Eine solche interdisziplinäre Zusammenarbeit ist an der Küste schon seit langem eine gute Tradition, die es fortzusetzen und auszubauen gilt. Sie ist in den Sonderforschungsbereichen 79 und 149 (TU Hannover), 94 (Uni Hamburg) und 95 (Uni Kiel) gegeben (112), wie auch in der Arbeit des Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI), das die Arbeit des Küstenausschusses Nord- und Ostsee fortsetzt, (117) und (122). Sie kommt in der Arbeit der Arbeitsgemeinschaft Westküstenforschung an der Universität Kiel und des Marschenrates zur Förderung der Forschung im Küstengebiet der Nordsee in Wilhelmshaven zum Ausdruck. Das Kolloquium des Marschenrates am 4. Dezember 1975 in Wilhelmshaven anläßlich seines 25jährigen Bestehens war für den Verfasser der letzte Anstoß zu der vorliegenden Arbeit.

Ziel der vorliegenden Arbeit kann es nicht sein, Prognosen für die Höhen künftiger Sturmfluten zu geben. Dazu wäre es nicht allein erforderlich, Aussagen über die künftige säkulare Wasserstandsentwicklung zu machen, sondern auch über die langfristige Entwicklung des Klimas und der meteorologischen Verhältnisse. Das ist nach unserem heutigen Wissensstande jedoch nicht möglich. Es sollten aber mit der vorliegenden Arbeit auch einige Hinweise und Anregungen gegeben werden, die für die praktische Arbeit des Wasserbauingenieurs von Nutzen sein können. Das gilt um so mehr, als durch die Sturmflutereignisse der letzten Jahre – 1962, 1973 und 1976 – die Öffentlichkeit stark beunruhigt ist und in diesen Ereignissen auch Folgen menschlicher Eingriffe in das Naturgeschehen sieht. Es konnte gezeigt werden, daß im Rahmen einer langfristigen Entwicklung die Sturmflutereignisse von 1962, 1973 und 1976 durchaus normal sind und jederzeit Sturmfluten auch mit noch größeren Scheitelhöhen und in größerer Häufigkeit vorkommen können. Aufgabe der Politiker und der Ingenieure ist es, geeignete Maßnahmen zu ergreifen und die finanziellen Mittel bereitzustellen, um Schäden abzuwehren oder doch so klein wie möglich zu halten und insbesondere um die Bevölkerung an der Küste zu schützen. Grundsätzlich kann man sagen, daß das Küstenschutzkonzept, wie es nach 1962 aufgestellt worden ist, richtig war. Es hat sich bei den Sturmfluten 1973 und 1976 bewährt. Für die Zukunft gilt es, die Wachsamkeit nicht erlahmen zu lassen. Die Entwicklungen müssen sorgfältig beobachtet werden, damit rechtzeitig die notwendigen Konsequenzen gezogen werden können. Insbesondere darf man sich nicht durch Zeiten mit relativ geringer Sturmfluthäufigkeit zu Sorglosigkeit verleiten lassen und sich in einer trügerischen Sicherheit wiegen!

5. Schriftenverzeichnis

(1) Arends, F.: Erdbeschreibung des Fürstentums Oldenburg und des Harlingerlandes. Emden, 1824.

(2) Arends, F.: Gemählde der Sturmfluthen vom 3. bis 5. Februar 1825. Bremen, 1826.

(3) Bantelmann, A.: Forschungsergebnisse der Marschenarchäologie zur Frage der Niveauänderungen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste, Jg. 8, 1960.

(4) Bantelmann, A.: Die Landschaftsentwicklung an der schleswig-holsteinischen Westküste, dargestellt am Beispiel Nordfriesland. Eine Funktionschronik durch fünf Jahrtausende. Die Küste, Jg. 14, H. 2, 1966.

(5) Behre, K. E. u. Menke, B.: Pollenanalytische Untersuchungen an einem Bohrkern der südlichen Doggerbank. Beitr. z. Meeresk., H. 24/25, 1969.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

(6) Brauer, H., Scheffer, W. u. Weber, H.: Die Kunstdenkmäler des Kreises Husum. Die Kunstdenkmäler des Kreises Südtondern. In „Die Kunstdenkm. d. Prov. Schl.-Holst.", Hersg. E. Sauermann, Bde. 1 u. 4, Berlin, 1939.
(7) Brahms, A.: Anfangs-Gründe der Deich- und Wasserbaukunst. Aurich, 1754 und 1757.
(8) Busch, A.: Deicherhöhungen durch sechs Jahrhunderte, Rungholtforschung und Meeresspiegelanstieg. Die Heimat, Bd. 70, H. 6, 1963.
(9) Daly, R. A.: Pleistocene glaciation and the coral reef problem. Amer. J. Sci., 4, 1910.
(10) Daly, R. A.: The changing world of the ice age. New Haven Yale University Press, 1934.
(11) Danckwerth, C.: Newe Landesbeschreibung der zwey Herzogthümer Schleswig und Holstein zusambt vielen dabey gehörigen newen Landkarten. Husum, 1652.
(12) Degn, Ch. u. Muuss, U.: Topographischer Atlas Schleswig-Holstein. Neumünster, 1966.
(13) Dietrich, G.: Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg. Die Küste, Jg. 2, H. 2, 1954.
(14) Dittmer, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana, H. 1, 1952.
(15) Dittmer, E.: Neue Beobachtungen und kritische Bemerkungen zur Frage der „Küstensenkung". Die Küste, Jg. 8, 1960.
(16) Eckermann, Ch.: Die Eindeichungen von Husum bis Hoyer. Z. f. schl.-holst. Gesch., Bd. 21, 1891.
(17) Eckermann, Ch.: Die Eindeichungen auf Nordstrand und Pellworm um 1634. Z. f. schl.-holst. Gesch., Bd. 25, 1895.
(18) Eilker, G.: Die Sturmfluten in der Nordsee. Emden, 1876.
(19) Fischer, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. III. Teil, 7 Bde., Berlin, 1955/58.
(20) Flamstead, J.: A correct Tide-table, shewing the true times of High-water at London-Bridge to every day in the year ... Phil. Transact., 1682, 1683, 1684, 1685, 1686, 1687, 1688.
(21) Flohn, H.: Klimaschwankungen in historischer Zeit. In „Die Wissenschaft", Bd. 122, Braunschweig, 1967.
(22) Freistadt, H.: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 in Hamburg. Die Küste, Jg. 10, H. 1, 1962.
(23) Gaye, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzen 100 Jahren. Die Wasserwirtschaft, 1951, Sonderheft.
(24) Gaye, J.: Wasserstandsänderungen in der Ostsee in den letzten 100 Jahren. Schr. d. Nat.wiss. Ver. f. Schl.-Holst., Bd. XXV, 1951.
(25) Gaedechens, C. F.: Historische Topographie der Freien und Hansestadt Hamburg. Hamburg, 1880.
(26) Giszas, H.: Wasserstandsaufzeichnungen von der Elbe aus den Jahren 1811 bis 1813. Hamb. Küstenforsch., H. 5, 1969.
(27) Gronwald, W.: Welche Erkenntnisse zur Frage der vermuteten neuzeitigen Nordseeküstensenkung hat die Wiederholung des Deutschen Nordseeküstennivellements gebracht? Die Küste, Jg. 8, 1960.
(28) Hahn, F. G.: Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten. Leipzig, 1879.
(29) Harkenroth, J. I.: Oostfriesische oorsprongkelykheden. Groningen, 1731.
(30) Hennig, R.: Untersuchungen über die Sturmfluten der Nordsee. Diss. Berlin, 1897.
(31) Hensen, W.: Über die Ursachen der Wasserstandshebung an der deutschen Nordseeküste. Die Bautechnik, H. 1, 1938.
(32) Hensen, W.: Stromregelungen, Hafenbauten, Sturmfluten in der Elbe und ihr Einfluß auf den Tideablauf. In „Hamburg – Großstadt und Welthafen". Kiel 1955.
(33) Homeier, H.: Der Gestaltwandel der ostfriesischen Küste im Laufe der Jahrhunderte. Ein Jahrtausend ostfriesischer Deichgeschichte. In „Ostfriesland im Schutze des Deiches", Bd. II, Hrsg. Ohling, J., Leer, 1969.
(34) Homeier, H.: Die Allerheiligenflut 1570 in Ostfriesland. In „De Allerheiligenvloed von 1570", Hrsg. Dr. Vries, K. u. Winsemius, J. P., Leeuwarden, 1970.

(35) Hübbe, H.: Über die Lage des Nullpunktes am Fluthmesser zu Hamburg. Neue Hamb. Bl., Nr. 51, 1844.
(36) Hübbe, H.: Erfahrungen und Beobachtungen im Gebiete der Strombaukunst. Hamburg, 1853.
(37) Hundt, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste, Jg. 3, H. 1/2, 1954.
(38) Jacoby, G.: Beiträge zur Untersuchung der Senkung unserer Küstengebiete. Ann. d. Hydrogr., H. III, 1935.
(39) Jansen, J. F.: Historisch-Theologisch Denkmal der wundervollen Wege Gottes in den großen Wassern, welche sich Anno 1717 den 25. Dezember zu vieler Länder Verderben so mannigfaltig ergossen. Bremen, 1722.
(40) Janssen, Th.: Zur Geschichte des Benser Siels. Ostfriesl., H. 4, 1968.
(41) Janssen, Th.: Der Kalender, das Wetter und die Fluten. Ostfriesl.-Kalender, Jg. 1965.
(42) Janssen, Th.: Die Allerheiligenflut von 1570 und ihre Spuren in Ostfriesland. Ostfriesl., H. 3, 1970.
(43) Janssen, Th.: Der säkulare Meeresanstieg an der ostfriesischen Küste. Ostfriesl., H. 3, 1975.
(44) Jelgersma, S.: Holocene sea level changes in the Netherlands. Mededel. Geol. Sticht., Ser. C, VI, No. 7, 1961.
(45) Kramer, J., Liese, R. u. Lüders, K.: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im niedersächsischen Küstengebiet, Die Küste, Jg. 10, H. 1, 1962.
(46) Kramer, J.: Sturmflut 1962. Norden, 1967.
(47) Lahmeyer: Über die Sicherung der Stadt Emden gegen Sturmfluthen sowie die Verbesserungen des Fahrwassers und der Abwässerung daselbst. Z. d. Arch. und Ing. Ver., Hannover, Bd. IV, 1858.
(48) Lang, A. W.: Die „Weihnachtsflut" vom 25. Dezember 1717. Nordseeküste, H. 7, Juist, 1963.
(49) Lensch, M.: Jan Adriaansz Leeghwater und seine Beschreibung der großen Sturmfluth vom 11. Oktober 1634. Mitt. d. Nordfries. Ver. f. Heimatkunde und Heimatliebe. H. 3, 1905/1906.
(50) Lentz, H.: Fluth und Ebbe und die Wirkungen des Windes auf den Meeresspiegel. Hamburg, 1873.
(51) Liese, R.: Beitrag zur Ermittlung der Höhe kommender Sturmfluten. Dt. Gewässerkdl. Mitt., H. 1 u. 2, 1963.
(52) Liese, R.: Über das jahreszeitliche Wandern schwerer Sturmfluten und tiefer Luftdruckwerte und über eine Deutung dieser Erscheinungen aus Planetenbewegungen. Dt. Gewässerkdl. Mitt., H. 5, 1969.
(53) Lüders, K.: Die Sturmfluten der Nordsee in der Jade. Die Bautechnik, H. 13, H. 15 u. H. 16, 1936.
(54) Lüders, K.: Über das Ansteigen der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste. Zentralbl. d. Bauverw., H. 50, 1936.
(55) Lüders, K.: Die Höhenzunahme der Orkanfluten im Jadebusen seit 1570. N. Arch. f. Nieders., Bd. 20, H. 4, Göttingen, 1971.
(56) Lüders, K.: Sturmtidenketten. Jahresber. 1973 d. Forschungsst. f. Insel- und Küstenschutz, Norderney, Bd. XXV, 1974.
(57) Meinz, M.: Der mittelalterliche Sakralbau in Ostfriesland. Aurich, 1966.
(58) Menke, B.: Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen und Radiocarbon-Datierungen zur holozänen Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Eiszeitalter und Gegenwart, B. 20, 1969.
(59) Menke, B.: Befunde und Überlegungen zum nacheiszeitlichen Meeresspiegelanstieg. Probleme der Küstenforschung, Bd. 11, 1976.
(60) Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Schleswig-Holstein: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste, Jg. 10, H. 1, 1962.
(61) Müller, W.: Beschreibung der Sturmfluthen an den Ufern der Nordsee ... am 3. u. 4. Februar 1825. Hannover, 1825.
(62) Müller, F.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. I. Teil, 2 Bde., Berlin, 1917.

Die Küste, 30 (1977), 52-143

(63) Müller, F. und Fischer, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. II. Teil, 7 Bde., Berlin, 1936/37.
(64) Nasner, H. u. Partenscky, H. W.: Sturmfluten in der Elbe und an der deutschen Nordseeküste in diesem Jahrhundert. Die Küste, H. 28, 1975.
(64 a) Neddermeyer, F. H.: Zur Statistik und Topographie der Freien und Hansestadt Hamburg und deren Gebietes. Hamburg, 1847.
(65) Nehls, Ch.: Die Sturmfluten in der Elbe. Magdeburg, 1896.
(66) Otto, W. u. Brandt, A.: Die Sturmfluten der Nordsee an der Wesermündung. Die Bautechnik, H. 3, 1926.
(67) Outhof, G.: Verhaal van alle Hooge Watervloeden in meest alle Plaatsen van Europa. Emden, 1. Aufl. 1718, 2. Aufl. 1720.
(68) Petersen, A.: Der mittelalterliche Dorfkirchenbau in der Krummhörn. Diss. Karlsruhe, 1963.
(69) Prange, W.: Die Höhen der Sturmflut vom 11. Okt. 1634 in Nordfriesland nach neuen Sturmflutmarken. Heimatkalender Nordfriesl. zwischen Eider und Wiedau, 1965.
(70) Reincke, H.: Höhe und Reichweite der Flut in und bei Hamburg. Hammaburg, Bd. 2, 1950/51.
(71) Reinke, J. T.: Über die Ebbe- und Fluth-Observazionen auf der Elbe. Hamb. Addreß-Comtoir-Nachr., Nr. 36, 1787.
(72) Rietschel, E.: Neuere Untersuchungen zur Frage der Küstensenkung. Dt. Wasserwirtschaft, H. 5, 1933.
(73) Rodewald, M.: Wie steht es um die Erwärmung des Arktischen Beckens? Dt. Hydrograph. Z., H. 6, 1965.
(74) Rohde, H.: Nachrichten über Sturmfluten früherer Jahrhunderte nach Aufzeichnungen Tönninger Organisten. Die Küste, Jg. 12, 1964.
(75) Rohde, H.: Die Häufigkeit hoher Wasserstände an der Westküste von Schleswig-Holstein. Die Küste , Jg. 12, 1964.
(76) Rohde, H.: Hochwassermarken am Hafen Tönning. Heimatkalender Nordfriesl. zwischen Eider und Wiedau, 1964.
(77) Rohde, H.: Sturmfluten und Hochwassermarken. Wasser u. Boden, H. 8, 1964.
(78) Rohde, H.: Die Veränderung der hydrografischen Verhältnisse des Eidergebietes durch künstliche Eingriffe. Dt. Gewässerkdl. Mitt., Sonderheft, 1965.
(79) Rohde, H.: Eiderstedt und die Sturmfluten. In „Blick über Eiderstedt", Heide, 1966.
(80) Rohde, H.: Die Weihnachtsflut 1717 an der schleswig-holsteinischen Westküste. Heimatkalender Nordfriesl., zwischen Eider und Wiedau, 1966.
(81) Rohde, H.: Wasserstandsänderung und Sturmfluthäufigkeit an der Elbemündung. Die Küste, H. 16, 1968.
(82) Rohde, H.: Die Entwicklung der Wasserstraßen im Bereich der deutschen Nordseeküste. Die Küste, H. 20, 1970.
(83) Rohde, H.: Eine Studie über die Entwicklung der Elbe als Schiffahrtsstraße. Mitt. d. Franzius-Inst. TU Hannover, H. 36, 1971.
(84) Rohde, H.: Ein Vergleich der Sturmfluten des Winters 1973/74 mit denen des Winters 1792/93. Die Küste, H. 26, 1974.
(85) Rohde, H.: Die Sturmtiden vom Herbst 1973 in Hamburg und Cuxhaven. Dt. Gewässerkdl. Mitt., H. 4, 1975.
(86) Rohde, H.: Wasserstandsbeobachtungen im Bereich der deutschen Nordseeküste vor der Mitte des 19. Jahrhunderts. Die Küste, H. 28, 1975.
(87) Rohde, H.: Sturmfluten an der Nordseeküste. Schr. d. Kurat. Dt. Schiffahrtsmuseum, Bremerhaven, 1976.
(88) Sachau, Th.: Die ältere Geschichte der Stadt Bremerhaven. Bremerhaven, 1927.
(89) Schelling, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste, Jg. 1, H. 1, 1952.
(90) Schindler, R.: Hamburg in vor- und frühgeschichtlicher Zeit. In „Hamburg – Großstadt und Welthafen", Kiel, 1955.
(91) Schütte, H.: Das Alluvium des Jade-Weser-Gebietes. Oldenburg, 1935.

(92) SEGOTA, T.: Radiocarbon measurements and the Holocene and late Würm sealevel rise. Eiszeitalter und Gegenwart, Bd. 23/24, 1973.

(93) SIEFERT, W.: Sturmflutvorhersage für den Tidebereich der Elbe aus dem Verlauf der Windstaukurve in Cuxhaven. Mitt. Franzius-Inst. TU Hannover, H. 30, 1968.

(94) SIEFERT, W.: Die Sturmflut von 1825 in der Elbe. Hamb. Küstenforschung, H. 5, 1969.

(95) SIEFERT, W.: Die Tideverhältnisse in der Elbe seit 1786. Dt. Gewässerkdl. Mitt., H. 5, 1970.

(96) SIEFERT, W.: Tidewasserstände im Elbegebiet während der Herbststurmfluten 1973 und ihre statistische Deutung. Dt. Gewässerkdl. Mitt., H. 2, 1975.

(97) SIMON, W. G.: Geschichte des Elbe-Ästuars von der Überflutung der Nordsee nach der letzten Vereisung bis zur Gegenwart, nach dem Stand der Kenntnisse von 1964. Abhandl. und Verhandl. d. Nat.wiss. Ver. in Hamb., N.F., Bd. IX, 1964.

(98) SINDOWSKI, K. H.: Nordseevorstöße und Sturmfluten an der ostfriesischen Küste seit 7000 Jahren. Geogr. Rundschau, Jg. 14., Nr. 5, 1962.

(99) SPECK, B.: Sturmflut am 3. Januar 1976, erlebt auf der Kirchwarft der Hallig Hooge. Vervielfältigtes Manuskript, Januar 1976.

(100) STRÖHMER, P.: Beitrag zur Frage der Veränderung der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste (unveröff.). WSD Bremen, 1960.

(101) TETENS, J. N.: Reisen in die Marschländer an der Nordsee zur Beobachtung des Deichbaus. Bd. 1, Leipzig, 1788.

(102) WALTHER, F.: Die morphologische und hydrologische Entwicklung der Außenweser im Hinblick auf die neueren Fahrwasserausbauten. 2. Teil: Die Gezeiten in der Außenweser (unveröff.) WSD Bremen, 1966.

(103) WEMELSFELDER, P. J.: Meereshöhe, Nivellementshöhe, Pegelnull. Die Küste, Jg. 8, 1960.

(104) WITTMER, H.: Tideänderungen durch Einbauten in Tideflüssen. Mitt. d. Franzius-Inst. TH Hannover, H. 13, 1958.

(105) WOEBCKEN, C.: Deiche und Sturmfluten an der Nordseeküste. Bremen-Wilhelmshaven, 1924.

(106) WOLFHAGEN, F.: Beschreibung der Stadt Tönning. Neues Staatsbürgerliches Magazin, IV, 1836.

(107) WOLTMANN, R.: [21]) Einige Bemerkungen über die hohe Sturmfluth in der Nacht vom 3. auf den 4. Februar 1825 . . . Hann. Magazin, 88., 89. u. 90. Stück, 1825.

(108) WOLTMANN, R.: Verzeichniß der Höhen der bedeutenden, seit Beginn des 18. Jahrhunderts in der Elbe stattgefundenen Sturmfluthen. Hamb. Bl., Nr. 8, 1834.

(109) WSD HAMBURG: Sturmflut am 16./17. 2. 1962 in der Elbe. Hamburg, 1962.

(110) WSD NORD: Sturmflut am 3. Januar 1976 in der Elbe. Hamburg, 1976.

(111) DUPHORN, K.: Gibt es Zusammenhänge zwischen extremen Nordsee-Sturmfluten und globalen Klimaänderungen? Wasser und Boden, H. 10, 1976.

(112) FÜHRBÖTER, A.: Interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Küstenforschung durch Sonderforschungsbereiche der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Jahrb. HTG., Bd. 33, 1972/73., Berlin, 1974.

(113) FÜHRBÖTER, A.: Über zeitliche Änderungen der Wahrscheinlichkeit von Extremsturmfluten an der deutschen Nordseeküste. Mitt. d. Leichtweiß-Inst. TU Braunschweig, H. 51, 1976.

(114) HESSEL, P.: Hertzfliessende Betrachtungen von dem Elbe-Strom. Altona, 1675.

(115) JANSEN, B.: Ablauf der Sturmflut und Überflutung der Haseldorfer Marsch. Wasser und Boden, H. 10, 1976.

(116) JANSSEN, Th.: Zwei Beispiele zur Ermittlung des säkularen Meeresspiegelanstiegs an der ostfriesischen Küste. Dt. Gewässerkdl. Mitt., H. 4, 1976.

(117) LAUCHT, H.: Die Entwicklung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee zum Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen. Die Küste, H. 29, 1976.

---

[21]) Nach Schriftstücken mit eigenhändiger Unterschrift wird der Name WOLTMAN geschrieben. Da aber auch in der zeitgenössischen Literatur meistens WOLTMANN angegeben wird, ist diese Schreibweise in der vorliegenden Arbeit beibehalten worden.

(118) Lüders, K.: Über die Gültigkeitsdauer des „Bemessungswasserstandes für Seedeiche" an der niedersächsischen Nordseeküste. Jahresber. 1969 der Forschungsst. f. Insel- und Küstenschutz, Norderney, Bd. XXI, 1971.

(119) Meissner, O.: Fortlaufende Lustrenmittel der Wasserstände verschiedener Ost- und Nordseestationen. Ann. d. Hydrogr., H. 10, 1926.

(120) Puruckherr, R.: Säkularvariation und meteorologisch-hydrologische Regressionen im Mittelwasser des Pegels Wilhelmshaven. Diss. Bonn, 1973.

(121) Rödenbeek, G.: Über Deichbau und Überflutungen in den Hamburger Elbmarschen (vor der Flut von 1962). Die Küste, H. 29, 1976.

(122) Rohde, H.: Die Küstenforschung im Gesamtprogramm Meeresforschung und Meerestechnik in der Bundesrepublik Deutschland. Jahrb. HTG, Bd. 33, 1972/73, Berlin, 1974.

(123) Weiss, J. und Lamb, H. H.: Die Zunahme der Wellenhöhen in jüngster Zeit in den Operationsgebieten der Bundesmarine, ihre vermutlichen Ursachen und ihre voraussichtliche weitere Entwicklung. Fachl. Mitt. des geophysik. Beratungsdienstes d. Bundeswehr., H. 160, Mai 1970.