# Bericht der Arbeitsgruppe Sturmfluten im Küstenausschuß Nord- und Ostsee<sup>1</sup>)

Von Walter Hensen

Alsbald nach der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 wurde vom Küstenausschuß Nordund Ostsee eine Arbeitsgruppe "Sturmfluten" gebildet, die sich der Aufgabe widmen sollte, den Ablauf dieser Sturmflut auszuwerten; insbesondere sollte untersucht werden, welcher Sturmflutseegang und Wellenauflauf an den Deichen und welche Bemessungswasserstände für die Seedeiche an der deutschen Nordseeküste und für die Strom- und Flußdeiche in den deutschen Tideflüssen als maßgebend festgesetzt werden müssen.

In der Arbeitsgruppe, die noch am Werke ist, arbeiten gemeinsam Meteorologen, Meereskundler, Hydrographen und Seebau-Ingenieure.

Die Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen. Mein Bericht behandelt deshalb nur den gegenwärtigen Stand der Ergebnisse.

Zunächst widmete sich die Arbeitsgruppe der Frage des maßgebenden Sturmflut-Seeganges und Wellen-Auflaufs an den Deichen. Ein kurzer erster Ergebnisbericht darüber ist bereits in der Zeitschrift "Die Küste" 1962 Heft 2 veröffentlicht worden.

Die wesentlichen Ergebnisse waren folgende:

- a) Für das Deichbestick ist die Kenntnis der Seegangselemente Wellenhöhe (H), Wellenlänge (L), Wellenperiode (T) und Angriffsrichtung der Wellen am Deich erforderlich.
  - Die bisher für die deutsche Nordseeküste vorhandenen Unterlagen reichen nicht aus.
- b) Außer wissenschaftlichen Werken für die Entwurfspraxis zur Wiederherstellung und Verstärkung der Deiche stehen bisher nur die von den Niederländern im Rahmen ihres Delta-Planes entwickelten Bemessungsunterlagen und die im Franzius-Institut der Technischen Hochschule Hannover durchgeführten Modellversuche zur Verfügung.
- c) Die Arbeitsgruppe hält es für wahrscheinlich notwendig, daß die bisher dem Deichbestick zugrunde gelegten Seegangswerte, insbesondere das Maß des Wellenauflaufes, erhöht werden müssen. Die bisher, d. h. vor der Februar-Sturmflut 1962, angenommenen Werte wurden am 16./17. Februar 1962 bereits unter meteorologischen Bedingungen und bei Wasserständen erreicht, die durchaus noch übertroffen werden können.
- d) Die Sturmflut 1962 hat den Mangel an genauen Kenntnissen über den Seegang in der Deutschen Bucht besonders deutlich werden lassen.
  - Es wird notwendig sein, mit selbstschreibenden Geräten eine intensive Seegangsforschung in der Deutschen Bucht, im Übergangsgebiet zu den Wattgebieten und auf den Watten selbst zu betreiben. Sobald eine ausreichende Zahl von Meßergebnissen vorliegt, wären geeignete Verfahren auszuarbeiten, mit denen der jeweils örtlich maßgebende Seegang und Wellenauflauf unter verschiedenen meteorologischen, hydrographischen und morphologischen Verhältnissen ermittelt werden kann.

Dank der Bereitstellung beträchtlicher Forschungsmittel von der Stiftung Volkswagenwerk und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft konnten diese unentbehrlichen Messungen bereits aufgenommen werden.

<sup>1)</sup> Nach einem Vortrag auf der 4. Gesamtausschußtagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee in Hamburg am 26. Nov. 1965.

Als einer weiteren Hauptaufgabe nahm sich die Arbeitsgruppe Sturmfluten der Frage nach der Festsetzung der Bemessungswasserstände für die Seedeiche an der deutschen Nordseeküste an.

Der Begriff "Bemessungswasserstand" wurde anstelle der bisher üblichen Bezeichnung "maßgebender Sturmflutwasserstand" gewählt, weil er nach Ansicht der Arbeitsgruppe klarer ist. Unter einem Sturmflutwasserstand ist der wellenfreie Ruhewasserstand eines Sturmflutscheitels zu verstehen, wie er von einem gut wellengedämpften Schreibpegel aufgezeichnet wird.

Die notwendige Deichhöhe wird durch den Sturmflutwasserstand und den örtlichen Wellenauflauf bestimmt.

In dem noch nicht vollständig abgeschlossenen zweiten Ergebnisbericht der Arbeitsgruppe Sturmfluten werden nur die Bemessungswasserstände an der Küste behandelt. Die Bemessungswasserstände in den Tideflüssen ergeben sich natürlich erst aus den vor ihren Mündungen festgesetzten Bemessungswerten; sie unterliegen aber zusätzlich noch dem Einfluß durch das Oberwasser der Flüsse und durch die Morphologie der Flußläufe.

Eine eingehende Analyse der Sturmflut vom 16./17 Februar 1962 brachte zunächst das bemerkenswerte Ergebnis, daß außergewöhnlich hohe Wasserstände auch dann eintreten können, wenn die Windgeschwindigkeit in der Deutschen Bucht keine Größtwerte erreicht.

Der Nordweststurm über der Nordsee am 16. und 17. Februar 1962 stand im Zusammenhang mit einem Tiefdruckgebiet, das in der Nacht vom 14. zum 15. Februar Nord-Island gestreift hatte, alsdann mit OSO-Kurs das Europäische Nordmeer und das norwegische Gebirge nahe Kristiansund überquerte und am 17. Februar um rund 0.00 MGZ in der Nähe von Stockholm lag. Dort besaß es einen Kerndruck von 950 mb. Zur Verschärfung der Luftdruckgegensätze auf seiner Rückseite, also im Nordseegebiet, trug das Nachdrängen eines sehr kräftigen Hochdruckgebietes (über 1040 mb) von Westen her wesentlich bei. In der Sturmflut-Nacht waren die von etwa NW nach SO verlaufenden Isobaren über der Nordsee wegen des großen Abstandes des Tiefzentrums (etwa 880 km) verhältnismäßig schwach gekrümmt. Dieser Umstand bewirkte unter anderem, daß über der offenen Nordsee schwerer oder orkanartiger Sturm aus nahezu ein und derselben Richtung (NW) herrschte.

Das Fischereischutzboot "Meerkatze" beobachtete in der nördlichen Nordsee (auf Position 57,6° N, 03,8° O) am 16. Februar von 6.00 bis 24.00 MGZ orkanartigen Sturm aus WNW, zuletzt NW. Die mittleren Böenwerte lagen meist bei 36 m/s, um 18.00 MGZ bei 41 m/s. Die Böigkeit war in der instabilen, von Schauern durchsetzten Kaltlust wahrscheinlich allgemein sehr stark.

Als für die Sturmflut 1962 maßgebende meteorologische Faktoren müssen somit neben der Stärke und der Richtung des Sturmes seine große Böigkeit, seine lange Dauer und die große Ausdehnung sowie die Einheitlichkeit des Sturmfeldes angesehen werden.

Es muß aber bemerkt werden, daß die bei dem Sturm vom 16./17. Februar 1962 in der Deutschen Bucht erreichte mittlere Windstärke keinen Höchstwert darstellt, sondern hier bei anderen sturmfluterzeugenden Stürmen gelegentlich weit übertroffen wurde.

Das für die Deutsche Bucht astronomisch vorausberechnete Nachthochwasser vom 16. zum 17. Februar 1962 lag 1 Dezimeter unter dem mittleren Tidehochwasser. Die Sturmflut 1962 traf also nicht mit einem Springtidehochwasser zusammen.

Wichtig ist, daß die extremen Wasserstände an der deutschen Nordseeküste durch die Windverhältnisse allein nicht erklärt werden können.

Der gegenüber dem aus den Windverhältnissen erzeugten Stau verbleibende "Reststau" kann aus meteorologischen Vorgängen in den Seegebieten nördlich und westlich der Nordsee

stammen. Bei hinreichend langer Dauer dringen die auf diese Weise (durch Fernwellen = external surges) erzeugten Wasserstandsänderungen bis in die Deutsche Buch vor. Ein Vergleich der Reststau-Kurve an den deutschen Küstenpegeln mit den Kurven der englischen Pegel bestätigt, daß der ungewöhnlich große Reststau am 16./17. Februar 1962 durch das Einlaufen einer solchen Fernwelle aus dem Atlantik in die Nordsee verursacht wurde.

Da hohe Fernwellen meist bei derselben Großwetterlage eintreten, die zugleich Sturmfluten in der Nordsee erzeugt, kann das Zusammentreffen einer Fernwelle mit einem Windstau nicht als Zufall angesehen werden.

Die Aufschlüsselung der Hochwasserstände an der deutschen Nordseeküste bei der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 zeigte, daß der Reststau teils auf eine Fernwelle und teils auch auf die Dauer des Windes zurückzuführen ist.

AN .

In der Meteorologie, Ozeanographie und Hydrographie hat seit dem zweiten Weltkriege eine verstärkte Forschungstätigkeit eingesetzt, die zur Zeit unvermindert anhält. Diese Entwicklung ist sowohl eine Folge der schnellen Zunahme der Möglichkeiten in der Meßtechnik als auch der zunehmenden Ausweitung und Verfeinerung der theoretisch-mathematischen Verfahren, die durch die Verwendung von Elektronenrechnern ihre Leistungsfähigkeit vervielfachen können. Daher dürfen die bis heute vorliegenden Erkenntnisse über die Ursachen, die Hydromechanik und die Statistik der Sturmfluten noch nicht allgemein als endgültig angesehen werden. Auch ist zu beachten, daß z. B. statistische Auswertungen von dem Zeitraum abhängig sind, aus dem Beobachtungen und Messungen vorliegen. Dieser Zeitraum geht bei Wasserstandsuntersuchungen in den meisten Fällen nicht über sieben Jahrzehnte hinaus.

Da aber die Frage nach der Möglichkeit höherer als bisher beobachteter Sturmfluten gegenwärtig gestellt wird, soll im folgenden eine kurze Übersicht über das gegeben werden, was heute darüber bekannt ist.

Zunächst werden die meteorologischen Gesichtspunkte, dann das physikalisch-hydrodynamische Sturmflutgeschehen und schließlich die statistischen Verteilungen und Zusammenhänge behandelt. Welche Folgerungen für die Praxis zu ziehen sind, wird abschließend erörtert werden.

Die Grundvoraussetzung für das Zustandekommen einer hohen Sturmflut im Bereiche der Deutschen Bucht ist ein hinreichend starker und dauerhafter auflandiger Sturm aus West bis Nordwest. Außer der Richtung, Stärke und Dauer des Sturmes im Küstenvorfeld spielen jedoch zusätzlich noch weitere meteorologische Faktoren für die Wasserstandsänderung eine Rolle, wie

- a) die Ausdehnung des Sturmfeldes über der freien Nordsee und die Richtung, Stärke und Dauer des Sturmes,
- b) die Böigkeit des Windes über See,
- c) der statische Luftdruck und
- d) die meteorologischen Vorgänge im Seeraum nördlich und westlich der nördlichen Nordsee als mögliche Quelle von Fernwellen.

Die Vielzahl der meteorologischen Parameter ist in den verschiedenen Sturmflut-Wetterlagen in einem immer wieder anderen Zusammenwirken enthalten, obwohl der morphologische Grundzug der sturmfluterzeugenden Wetterlagen insofern immer der gleiche ist, als ein Sturmtief mit seinem Zentrum nördlich der Deutschen Bucht liegen oder vorbeiziehen muß. Schon dieser einheitliche Grundzug der Wetterlage hat jedoch eine große Variationsbreite. Das zeigt sich z. B. darin, daß das Zentrum eines sturmfluterzeugenden Tiefs, wenn es den Meridian der Deutschen Bucht (8º Ostlänge) ostwärts ziehend kreuzt, von ihr zwischen etwa 100 km und

1000 km entfernt sein kann. Das Sturmtief-Zentrum vom 16. Februar 1962 war beim Passieren des 8. Meridians Ost sogar 1100 km von der Deutschen Bucht entfernt.

Bei größerer Nähe des Tiefzentrums ist die Wahrscheinlichkeit extrem hoher Windgeschwindigkeiten im allgemeinen größer. So wurden bei der Sturmflut vom 10. Februar 1949 und bei dem sogenannten "Elbe 1-Orkan" vom 27. Oktober 1936 wesentlich höhere mittlere Windstärken von 30 m/s und 27,3 m/s registriert als im Februar 1962 mit 23,4 m/s.

Da auch andere meteorologische Veränderliche von möglicher Stauwirksamkeit von Fall zu Fall verschieden sind, ist jede Sturmflut-Wetterlage ein Sonderfall aus einer Fülle von Möglichkeiten. Welcher Sonderfall einer extrem förderlichen Kombination der stauwirksamen meteorologischen Parameter — förderlich im Sinne einer extremen Sturmflut in der Deutschen Bucht — überhaupt denkbar oder möglich ist, läßt sich von der Erfahrungsseite her nicht angeben, weil in der kurzen Beobachtungszeit seit dem vorigen Jahrhundert zweifellos immer nur ein Teil der atmosphärischen Möglichkeiten zusammengewirkt hat.

Es hat sich als unzulässig erwiesen, die Tiefe der barometrischen Depression in Verbindung mit der Höhe von Sturmflutwasserständen zu bringen. Besser scheint es zu sein, die Windgeschwindigkeit heranzuziehen. In nordatlantischen Winterstürmen sind mittlere Windgeschwindigkeiten von 48 m/s erreicht worden. Solche Extreme des freien Nordatlantischen Ozeans können aber nicht ohne weiteres auf die Nordsee übertragen werden, weil bei den atmosphärischen Möglichkeiten die geographischen — nicht verrückbaren — Verhältnisse mitspielen.

Daß alle stauwirksamen meteorologischen Parameter in einem konkreten Einzelfall mit ihren Extremweiten zusammentreffen, muß nach der Morphologie der Wetterlagen als zwar nicht unmöglich, doch unwahrscheinlich gelten.

Es bleibt noch weiter zu erforschen, wie die einzelnen meteorologischen Parameter voneinander abhängen und in welchem Maße sie zur Erhöhung des Wasserstandes beitragen.

Sturmflutwasserstände an der deutschen Nordseeküste werden hervorgerufen

von den Gezeiten,

von den Schubkräften, die der Wind über der Nordsee auf die Meeresoberfläche ausübt.

vom statischen Luftdruck und

von Wasserstandsänderungen in den Eingängen zur Nordsee zwischen Schottland und Norwegen, z. B. Fernwellen.

Auch der Massenaufbau der Nordsee, z. B. Schichtungen und andere ozeanographische Faktoren wirken mit.

Wenn die genannten Faktoren wertmäßig bekannt sind, können die Sturmflutwasserstände nach Untersuchungen des Instituts für Meereskunde Hamburg mit hydrodynamischnumerischen Modellen hinreichend genau dargestellt werden. Diese Untersuchungen bestätigen, daß vornehmlich der Wind in der Deutschen Bucht als entscheidende Ursache für Sturmfluten anzusehen ist. Aber auch der Wind vor der schottischen und englischen Ostküste kann einen Beitrag zum Stau in der Deutschen Bucht liefern. Weiterhin hat sich ergeben, daß die Wasserstandsänderungen im nördlichen Eingang zur Nordsee vornehmlich dann, wenn sie von hinreichend langer Dauer sind, den Wasserstand in der Deutschen Bucht merkbar beeinflussen.

Der Versuch, Sturmfluten im Anschluß an Gezeitenvorausberechnungen darzustellen, ist schwierig, da die Gezeiten bei erhöhtem Wasserstand anders als vorausberechnet ablaufen.

Der Unterschied zwischen dem an einem Pegel gemessenen und dem für denselben Zeitpunkt astronomisch vorausberechneten Wasserstand wird als Stau bezeichnet. Dieser Stau ist als Begriff und dem Betrage nach verschieden von der Wasserstandserhöhung, die als Wirkung des Windes auf die Meeresoberfläche hervorgerufen wird. Wegen der dabei auftretenden Wechselwirkung darf die windbedingte Wasserstandserhöhung nicht einfach zu den astronomisch vorausberechneten Wasserständen hinzugefügt werden.

So ist unter sonst gleichen Bedingungen der Stau bei Hochwasser um etwa <sup>1/3</sup> geringer als bei Niedrigwasser. Der Leitgedanke des physikalisch-empirischen Verfahrens besteht deshalb darin, für verschiedene Tidewasserstände den Stau in Abhängigkeit vom Wind und gegebenenfalls von anderen Faktoren darzustellen. 80 bis 85 % des Staues an der deutschen Nordseeküste lassen sich im Mittel auf diese Weise allein dem Wind zuordnen, der über der Deutschen Bucht herrscht.

Die verbleibenden Reste des Staues müssen in entsprechender Weise dem Einfluß weiterer Faktoren zugeordnet werden. Damit wird physikalisch-empirisch ein Stau bestimmt, der noch Abweichungen vom beobachteten Stau zeigen kann. Diese Abweichungen haben oft einen so regelmäßigen Gang, daß er bei Vorhersagen extrapoliert werden kann.

Wie sich aus der Analyse der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 ergab, hat eine rund 90 cm hohe Fernwelle wesentlich zum Maximalstau beigetragen.

Die Fernwellen, die im letzten Jahrzehnt in die Deutsche Bucht eingelaufen sind, wurden vom Deutschen Hydrographischen Institut empirisch bestimmt. Die Ergebnisse gestatten noch keine Aussage über extreme Höhen von Fernwellen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß höhere Fernwellen als am 16./17 Februar 1962 in der Deutschen Bucht auftreten können.

Im Gegensatz zu der Untersuchung bestimmter Kausalketten, also determinierter Beziehungen, verzichtet das Verfahren der statistischen Untersuchung auf eine Analyse des Einzelfalls und untersucht statt dessen das Verhalten eines Kollektivs von Einzelfällen. Dies Kollektiv wird aus Beobachtungen gewonnen, von denen eine genügende Zahl vorliegen muß. Ziel der statistischen Untersuchung ist es, aus beobachteten Häufigkeiten ein möglichst gesichertes Wahrscheinlichkeitsgesetz zu erhalten, das auch die Extrapolation in solche Bereiche ermöglicht, für die noch keine oder nur wenig Beobachtungen vorliegen.

Da es sich bei Sturmfluten und ihren Ursachen um extreme und seltene Ereignisse handelt, sind die Gesetze zu beachten, die für die Wahrscheinlichkeit seltener Ereignisse gelten.

Die Morphologie der Wetterlagen selbst scheidet aus der statistischen Untersuchung aus, da diese nur auf zahlenmäßig angebbare Größen anwendbar ist. Für die Statistik kommen also in diesem Falle nur die einzelnen sturmfluterzeugenden Parameter in Betracht.

Das Ungünstige in der Meteorologie ist nun, daß verläßliche Messungen in ausreichender Zahl erst seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts vorliegen. Die statistische Auswertung zeigt zwar eindeutig, daß extreme sturmfluterzeugende Parameter um so seltener auftreten, je extremer ihre Werte sind; es ist aber zur Zeit noch nicht möglich, ein Extrapolationsgesetz für den Extrembereich aufzustellen.

Das gleiche gilt für langperiodische Großwetterveränderungen, die auch die Sturmfluthäufigkeit bedingen könnten. Der beobachtete Zeitraum von rund einem halben Jahrhundert ist zu kurz, um periodische Schwankungen dieser Größenordnung erkennen zu können, sofern solche überhaupt existieren sollten.

Aus diesen Gründen ist es schwer, allein aus meteorologischer Statistik die Sturmflutwahrscheinlichkeit zu bestimmen.

Es kommt hinzu, daß die Häufigkeiten oder Wahrscheinlichkeiten einzelner meteorologischer Parameter für sich noch nichts über die Sturmfluthöhe aussagen, weil diese eine Folge des Zusammentreffens mehrerer dieser Parameter ist, wie es besonders deutlich die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 zeigte. Es müßte also außerdem die Statistik der gegenseitigen Abhängigkeiten dieser Parameter bekannt sein.

Die von dem Niederländer Wemelsfelder eingeführte statistische Behandlung der Sturmflutwasserstände hat gegenüber den Gegebenheiten der Meteorologie die weitaus einfachere Voraussetzung, daß nur ein Kollektiv, nämlich das der Wasserstände, zu untersuchen ist. Hier liegen einigermaßen verläßliche und fortlaufende Messungen seit dem vorigen Jahrhundert vor.

Bei der Aufstellung des Kollektivs muß ausgeschlossen werden, daß Abhängigkeiten zwischen aufeinander folgenden Werten bestehen. Langperiodische Veränderungen von mehreren Jahrzehnten müssen gesondert berücksichtigt werden. In dem verfügbaren Zeitraum sind solche nicht sicher zu erkennen. Sicher erkannt ist nur ein Spiegelanstieg der Nordsee von im Mittel 20 bis 30 cm im Jahrhundert, dessen Extrapolation auf die Zukunft oder auf die Vergangenheit allerdings problematisch ist.

Deshalb sind die überlieferten Sturmfluthöhen der vergangenen Jahrhunderte schon wegen der nicht ganz zuverlässigen Beschickung auf die Gegenwart unsicher. Hinzu kommt, daß diese Angaben keine Meßergebnisse wellengedämpfter Pegel darstellen, sondern sowohl nach oben (z. B. durch Seegang) als auch nach unten (z. B. durch Entlastung infolge von Deichbrüchen) beeinflußt sein können. Daher ist die Einbeziehung dieser Werte in die statistische Betrachtung nur als Näherung möglich.

Wird das Kollektiv der Pegelbeobachtungen seit dem vorigen Jahrhundert als Häufigkeitslinie aufgetragen, so interessiert vor allem der Bereich der höchsten aufgetretenen Wasserstände und der Bereich darüber.

Zur Zeit besteht noch keine Klarheit darüber, welches formale Wahrscheinlichkeitsgesetz die beobachteten Häufigkeiten am besten wiedergibt. Die geradlinige Extrapolation im einfachlogarithmisch gedehnten Koordinatennetz, das Wemelsfelder anwendet und die einer einfachen Exponentialverteilung entspricht, wird von verschiedenen Forschern angezweifelt. Aber auch die anderen Wahrscheinlichkeitsfunktionen von Gumbel, Frechet u. a. sind bisher für Sturmflutwasserstände noch nicht erprobt. Nach den genannten Verfahren kann entschieden werden, ob es eine endliche Häufigkeit des Wasserstandes gibt.

Ebenso bestehen Bedenken gegen Wahrscheinlichkeits- und Anpassungsfunktionen, die ihrer formalen Natur nach für die Wahrscheinlichkeit Null endliche Werte und bei der Bestimmung ihrer Parameter aus den Beobachtungswerten Wasserstände ergeben, die als höchstmögliche Sturmflutwasserstände gedeutet werden können.

In jedem Falle ist eine Wahrscheinlichkeitsaussage keine Termin-Vorhersage, weil eine Wahrscheinlichkeit von z. B. 1:100 nur bedeutet, daß der betreffende Wasserstand im Verlaufe sehr großer Zeiträume im Mittel einmal in 100 Jahren erreicht wird.

Die bei der Februar-Sturmflut 1962 an den Pegeln der Küste der Deutschen Bucht gemessenen höchsten Wasserstände liegen überall unter den "maßgebenden Sturmflutwasserständen", jetzt also Bemessungswasserstände genannt, die von den zuständigen Verwaltungen der Küstenländer nach den Erfahrungen der Holland-Sturmflut 1953 für die Bemessung der Seedeichhöhen neu festgesetzt worden waren. Insofern besteht kein Anlaß, die Frage nach einer Änderung der Bemessungswasserstände zu behandeln. Wenn trotzdem diese Frage erneut aufgegriffen wird, so deshalb, weil die Februar-Sturmflut 1962 in den oberen Tideströmen, insbesondere in der Elbe bei Hamburg, zu schweren Verlusten und Schäden geführt hat.

Die bisher verwendeten Verfahren zur Festsetzung der Bemessungswasserstände für Sturmfluten beruhen im wesentlichen für die Küste Schleswig-Holsteins auf Ergebnissen statistischer Auswertungen von Häufigkeitsbetrachtungen, für die Küste Niedersachsens auf einer Zusammensetzung einzelner maximaler Anteile für das Auftreten hoher Sturmflutwasserstände zu einem Bemessungswert für die Deichhöhe. Beide Verfahren liefern annähernd gleiche Werte. Beide Verfahren wurden in der Arbeitsgruppe "Sturmfluten" eingehend erörtert und unter Benutzung physikalischer, meteorologischer und ozeanographischer Erkenntnisse ausgebaut. Dabei ergaben sich begründete Auffassungen verschiedener Betrachtungsweisen, die sich nicht in allen Punkten vereinbaren ließen. Sie sollen kurz beschrieben werden.

#### 1. Hydrodynamisch-numerisches Verfahren

Die Bewegungsvorgänge im Meere werden mit Hilfe der hydrodynamischen Gleichungen quantitativ reproduziert. Diese Verfahren erfordern einen beträchtlichen numerischen Aufwand, für den jetzt elektronische Großrechenanlagen zur Verfügung stehen; sie weisen eine für praktische Untersuchungen ausreichende Naturähnlichkeit auf.

Für jeden Küstenort besteht ein "stauwirksamstes Windfeld", mit dessen Auftreten durchaus gerechnet werden muß. Das Windfeld der Februar-Sturmflut 1962 für Cuxhaven war kein stauwirksamstes. Deshalb muß dort in Zukunft mit höheren Wasserständen gerechnet werden als bisher.

#### 2. Verfahren mit physikalisch denkbaren Sturmflutwasserständen

Der physikalisch denkbare Sturmflutwasserstand wird berechnet aus einem astronomisch vorausberechneten Wasserstand und einer bei Sturmfluten auftretenden Wasserstandserhöhung, die aus drei einzeln abgeschätzten Anteilen zusammengesetzt wird, und zwar

- a) aus einem statistisch bestimmten Windstauwert,
- b) einem Zusatzwert, der vor allem die Böigkeit des Sturmes berücksichtigt, und
- c) aus dem Einfluß von freien Sturmflutwellen (Fernwellen).

### 3. Häufigkeitsverfahren

Die Häufigkeitsskala der eingetretenen Sturmflutwasserstände wird bei der Wahl des praktisch zweckmäßigen Kompromisses zwischen Gefährdungs- und Sicherheitsgrad verwendet.

Statistisch konstruierte mittlere Häufigkeitsfunktionen der Wasserstände werden nach dem bequem zu handhabenden Exponentialgesetz mit gradliniger Extrapolation im einfachlogarithmischen Netz als zweckmäßigste Darstellung angesehen.

Der Bemessungswasserstand ergibt sich aus der Wahl einer Tidehochwasser-Seltenheit von

z. B. einmal in 100 Jahren.

## 4. Statistische Untersuchung der Grenzhöhe von Sturmfluten

Auf hydrologisch-statistischem Wege werden die Höhen kommender Sturmfluten und ihre möglichen Grenzwerte untersucht.

Dabei werden berücksichtigt:

der säkulare Anstieg des Meeresspiegels,

die jahreszeitliche Schwankung der Tidewasserstände und

die Schwankung der Tidewasserstände aus Schwallerscheinungen.

Die vorstehend nur angedeuteten Verfahren kommen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen, je nach den Ausgangswerten, die sie verwenden. Es ist nicht möglich, sie in einem Verfahren zu verbinden.

Die Arbeitsgruppe "Sturmfluten" ist der Meinung, daß die verschiedenen Wege und Ansätze weiter verfolgt und untermauert werden sollten.

Die Februar-Sturmflut 1962 gab keine Veranlassung, die bisher für die Seedeiche festgesetzten Bemessungswasserstände zu ändern.

Die Arbeitsgruppe "Sturmfluten" hält es für vertretbar, zunächst die bisher angewendeten Verfahren zur Bestimmung des Bemessungswasserstandes nicht zu ändern.

Es ist aber darauf hinzuweisen, daß selbst bei dem Verfahren zur Festsetzung eines Bemessungswasserstandes stets noch ein Wagnis verbleibt, das praktisch unvermeidbar ist.

Dieses Wagnis muß durch andere Vorkehrungen aufgefangen werden.

Die Untersuchungen über die Festlegungen von Bemessungswasserständen für die Stromund Flußdeiche in den deutschen Tideflüssen sind erst angelaufen. Darüber kann deshalb noch nicht berichtet werden.