

Bemessungswasserstände 2085 A entlang der Elbe Ergebnisse einer Überprüfung durch die Länderarbeitsgruppe nach 10 Jahren (1995/96)

Von WINFRIED SIEFERT

Zusammenfassung

Eine Arbeitsgruppe von Fachleuten aus Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Hamburg erstellte 1986 ein neues Bemessungskonzept für den Hochwasserschutz an der Tideelbe, das 1988 veröffentlicht wurde und inzwischen weitgehend umgesetzt ist. Vereinbarungsgemäß wurden nach zehn Jahren das Verfahren selbst und dessen Grundlagen anhand neuer Daten und Erkenntnisse überprüft. Der vorliegende Bericht ist die Neubearbeitung, sozusagen die zweite Auflage. Als Ergebnis ist festzuhalten, daß die Arbeitsgruppe keine Veranlassung sieht, die Bemessungsturmflut 2085 A zu verändern. Für die nächste turnusmäßige Überprüfung im Jahre 2006 werden dennoch einige Anregungen und Hinweise auf laufende Untersuchungen gegeben.

Summary

The Elbe estuary is approx. 160 km long and borders three German federal states: Lower Saxony (Niedersachsen), Schleswig-Holstein and Hamburg. A working group with participants from these states, that are responsible for their own flood protection, proposed a new design concept in 1986 that was published in 1988 and accepted for practical use thereafter. After 10 years the working group reviewed the concept and its data base (up to 1996). The result is: No change of the concept and no need to adjust the design storm tide 2085 A because of the development in the last decade. Nevertheless, some recommendations for the next review in 2006 are given.

Inhalt

1. Vorbemerkungen	228
2. Verfahren zur Festlegung der Bemessungswasserstände	228
3. Grundlagen des Verfahrens	231
3.1 Maßgebende Sturmidekurve für Cuxhaven	231
3.1.1 Mittlere Tidekurve	231
3.1.2 Windstaukurve	233
3.1.3 Säkulare Entwicklung	239
3.2 Sonstige Vorgaben für die Modelluntersuchungen	239
3.2.1 Wind über der Elbe	239
3.2.2 Oberwasserzufluß	246
4. Bemessungswasserstände und Sollhöhen der Hochwasserschutzanlagen	247
4.1 Modellergebnisse	247
4.2 Zum Wellenauflauf	249
5. Diskussion alternativer Bemessungsansätze	250
5.1 Zu den astronomischen Einflüssen	250
5.2 Zu Fernwellen	252
5.3 Zur Eintrittswahrscheinlichkeit der maßgebenden Sturmflut	252
5.4 Zu Sicherheitszuschlägen	253
6. Schriftenverzeichnis	254

1. Vorbemerkungen

Am 21. 3. 1985 sprachen die zuständigen Staatssekretäre/Staatsräte von Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Hamburg über den Hochwasserschutz entlang der Elbe. Eines der Ergebnisse war die Einsetzung einer Arbeitsgruppe von Fachbeamten, die sich mit den Bemessungswasserständen befassen sollte. Diese Gruppe bestand aus den Herren

MR Krause	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hannover
BD Kroker	Baubehörde, Hamburg
RBD Probst	Amt für Land- und Wasserwirtschaft, Itzehoe
MR Scherenberg	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Kiel
Prof. Dr.-Ing. Siefert	Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Landwirtschaft, Hamburg (Obmann)

und traf sich mehrfach. Ergebnis war ein im Mai 1986 unterzeichnetes Papier, das 1988 in Heft 47 der „Küste“ veröffentlicht wurde (LÄNDERARBEITSGRUPPE, 1988). Damit wurden die gesteckten Ziele erreicht,

- Vorschläge für eine einheitliche Definition und Festlegung der Bemessungswasserstände/maßgebenden Sturmflutwasserstände zu erarbeiten und
- die bisher gewählten Zuschläge zur Bestimmung der Sollhöhe zu erläutern.

In dem Bericht wird darauf hingewiesen, daß die Tideverhältnisse in Abständen von 20 bis 25 Jahren überprüft werden sollten. In Anlehnung an Gepflogenheiten in anderen Ländern und im Sinne der 1996 vom Niedersächsischen Umweltministerium durchgeführten „Internationalen Küstenschutzkonferenz“ haben sich die Elbanlieger darauf verständigt, eine solche Überprüfung in Zukunft etwa alle 10 Jahre vorzunehmen. Damit war diese 1995/96 fällig. Die dafür eingerichtete Arbeitsgruppe bestand aus den Herren

MR Krause	Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover
MR Probst	Ministerium für ländliche Räume, Landwirtschaft, Ernährung und Tourismus, Kiel
BD Otto	Baubehörde, Amt für Wasserwirtschaft, Hamburg
Prof. Dr.-Ing. Siefert	Wirtschaftsbehörde, Strom- und Hafenbau, Hamburg

Die Arbeitsgruppe hat den Text der Veröffentlichung von 1988 in mehreren Besprechungen diskutiert, ergänzt und bewertet. Dabei wurde beschlossen, auf Einzelergänzungen zum bisherigen Text zu verzichten und statt dessen eine aktualisierte Version der gesamten Arbeit zu erstellen. Diese wird hiermit vorgelegt.

Bereits hier sei der Hinweis erlaubt, daß die Prüfung keine Änderungen in den Grundlagen und in den empfohlenen Bemessungswasserständen ergeben hat. Letztere sind inzwischen in Hamburg und Niedersachsen offiziell eingeführt worden. In Schleswig-Holstein soll dies noch vor 2000 geschehen.

2. Verfahren zur Festlegung der Bemessungswasserstände

Der Bemessungswasserstand ist der für einen vorgegebenen Zeitraum zu erwartende höchste Wasserstand, auf den eine Hochwasserschutzanlage unter Berücksichtigung des säkularen Anstiegs und des Oberwasserzuflusses zu bemessen ist. Möglicher Seegangseinfluß ist darin nicht enthalten.

Die Arbeitsgruppe war sich einig, daß zum Erreichen der Ziele ein zwischen den Elbanliegerländern abgestimmtes Bemessungsverfahren konzipiert werden mußte. Dieses berücksichtigt inzwischen die Erkenntnisse über das Tide- und Sturmflutgeschehen, die in den letzten 35 Jahren gesammelt wurden, und ist so aufgebaut, daß es im Prinzip auch für die Küste und für andere Flüsse brauchbar ist. Zudem ist es so beschaffen, daß einerseits neue oder auszubauende Hochwasserschutzanlagen damit bemessen und andererseits die Sicherheit vorhandener überprüft werden können.

Es mußte dazu zwischen zwei Wegen entschieden werden, nämlich ob für jeden Ort an der Elbe ein Bemessungswasserstand separat festgelegt oder ob nur für die Elbmündung (d. h. Cuxhaven) ein solcher ermittelt und der weitere Verlauf in der Elbe in Modellen bestimmt werden sollten. Basis der Untersuchungen mußte jeweils ein großes, möglichst homogenes Datenkollektiv sein. In der Elbe selbst sind in den letzten drei Jahrzehnten aber erhebliche natürliche und künstliche Veränderungen zu verzeichnen. Deswegen entschied die Arbeitsgruppe sich 1985 für den zweiten Weg. Er basiert unmittelbar auf Meßwerten, mit denen ein geeichtes Modell gesteuert werden kann. Dafür waren aber erneut zwei Wege denkbar, nämlich die Bestimmung eines maßgebenden *Scheitel*wasserstandes oder die Ermittlung einer maßgebenden *Sturmtidekurve*, deren Höchstwert den Bemessungswasserstand darstellt.

Der Vorteil der Verwendung einer Sturmtidekurve ist, daß nur so die ungünstigsten Wechselwirkungen zwischen Tide und Windstau auf dem Weg von Cuxhaven nach Hamburg erfaßt und zusätzliche Aussagen über Verweildauern hoher Zwischenwasserstände sowie den zeitlichen Ablauf der Sturmflut möglich sind.

Damit reduzierten sich für die Arbeitsgruppe die Alternativen auf

- Modellversuche für alle gelaufenen höheren Sturmfluten in verschiedenen Ausbauständen der Elbe mit nachfolgender statistischer Bearbeitung für die einzelnen Pegel und
- statistische Bearbeitung der gemessenen Daten von Cuxhaven mit anschließendem Modellversuch für die Elbe bis Geesthacht.

Die Arbeitsgruppe entschied sich für den sichereren und physikalisch sinnvolleren zweiten Weg, nämlich folgendes Verfahren:

- a) Bestimmung einer maßgebenden Sturmtidekurve für Cuxhaven;
- b) Modelluntersuchungen für die Elbe bis Geesthacht mit dieser Sturmtidekurve; Ergebnis ist der maßgebende Sturmflutablauf in der Elbe;
- c) daraus Festlegung der Scheitelwerte (HThw) für jeden Ort als Bemessungswasserstände;
- d) Bestimmung des zeitlichen und örtlichen Ablaufes der maßgebenden Sturmflut aus den Kurven.

Das so entwickelte Bemessungsverfahren wurde 1985/86 angewendet, jetzt von der neuen Arbeitsgruppe überprüft und erneut für richtig befunden. Tab. 1 der LÄNDERARBEITSGRUPPE (1988) enthält eine Gegenüberstellung der gewählten Komponenten dieses Verfahrens mit den bisher an der Elbe praktizierten.

Zur Trendabschätzung hat die Arbeitsgruppe die Scheitelhöhen aller Sturmfluten in der Elbe von 1976 bis 1995 darauf untersucht, ob ein Trend in Richtung auf höhere Scheitel auszumachen ist. Abb. 1 zeigt (neben der großen Streuung), daß bei linearer Extrapolation kein Trend zu höheren Werten besteht. Dasselbe Ergebnis zeigen im übrigen auch eine logarithmische und eine exponentielle Extrapolation der Daten.

Linear extrapolierte Sturmfluthöhen in der Untereibe seit 1976
(Sturmfluten mit Windstauhöhe ≥ 200 cm in Cuxhaven; n = 100)

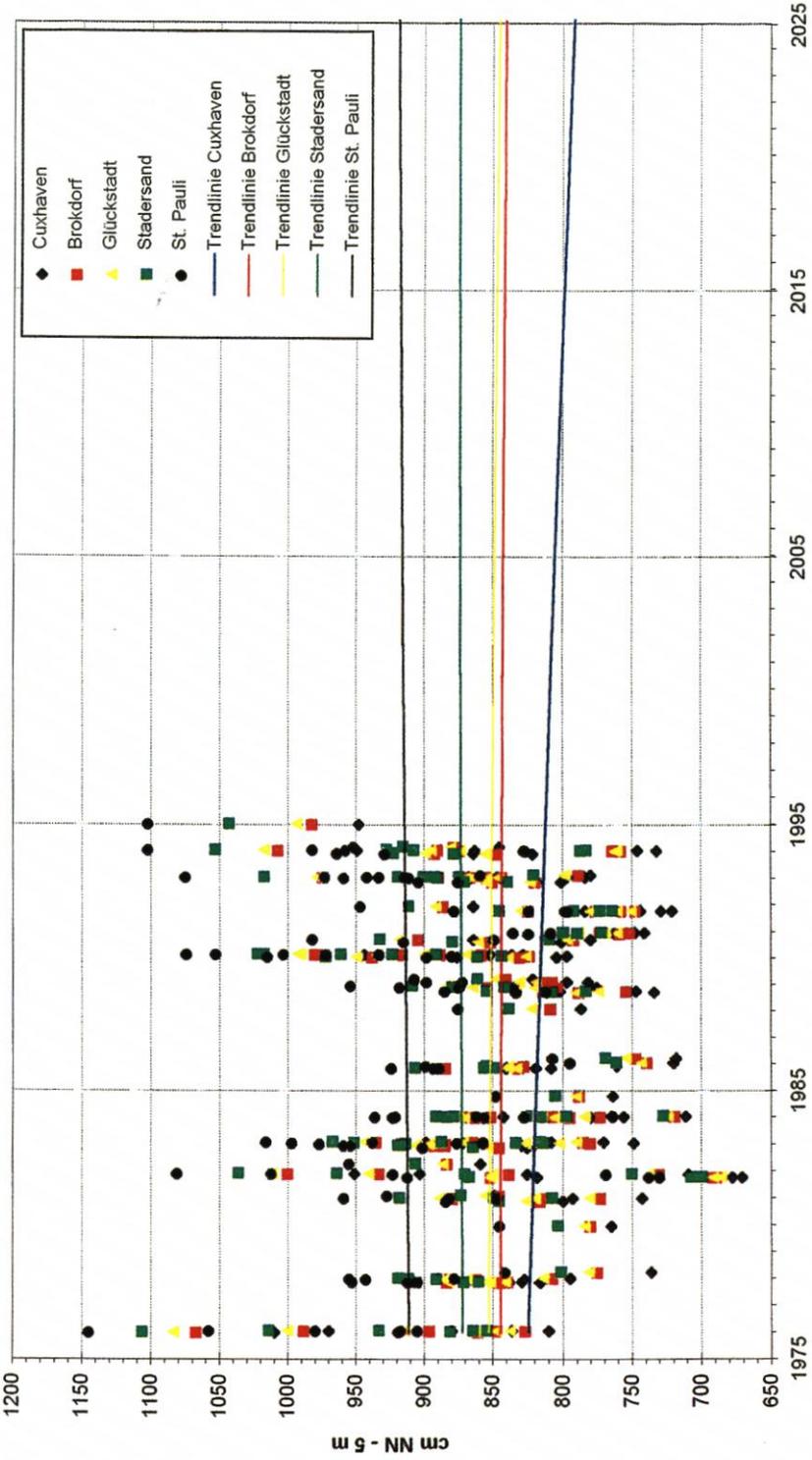


Abb. 1

3. Grundlagen des Verfahrens

3.1 Maßgebende Sturmtidekurve für Cuxhaven

Die maßgebende Sturmtidekurve enthält folgende Komponenten (siehe dazu Abb. 2):

- Die aktuellen Tideverhältnisse an der Küste,
- zusätzliche astronomische Einflüsse,
- meteorologische Einflüsse (im wesentlichen Windstau),
- Einflüsse aus Schwingungen in der Nordsee und aus Fernwellen und
- säkulare Veränderungen.

Diese Komponenten überlagern sich schon in der Nordsee. Dabei beeinflussen sie sich gegenseitig, so daß die in Cuxhaven gemessenen Werte nur die integrierte Wirkung darstellen. Ein Herauslösen einzelner Einflüsse für Bemessungszwecke ist mit ausreichender Sicherheit nicht möglich.

Das aktuelle Tidegeschehen wird am besten durch die mittleren Tidekurven beschrieben. Die übrigen astronomischen und meteorologischen Einflüsse sowie die Wirkungen aus Schwingungen und Fernwellen sind in der sog. Windstaukurve zusammengefaßt. Diese Bezeichnung ist deshalb gerechtfertigt, weil in der Regel etwa 90 % ihrer Beträge aus Windeinfluß bestehen.

Hinsichtlich der säkularen Veränderungen sind gesonderte Betrachtungen erforderlich (siehe Kap. 3.1.3.)

3.1.1 Mittlere Tidekurve

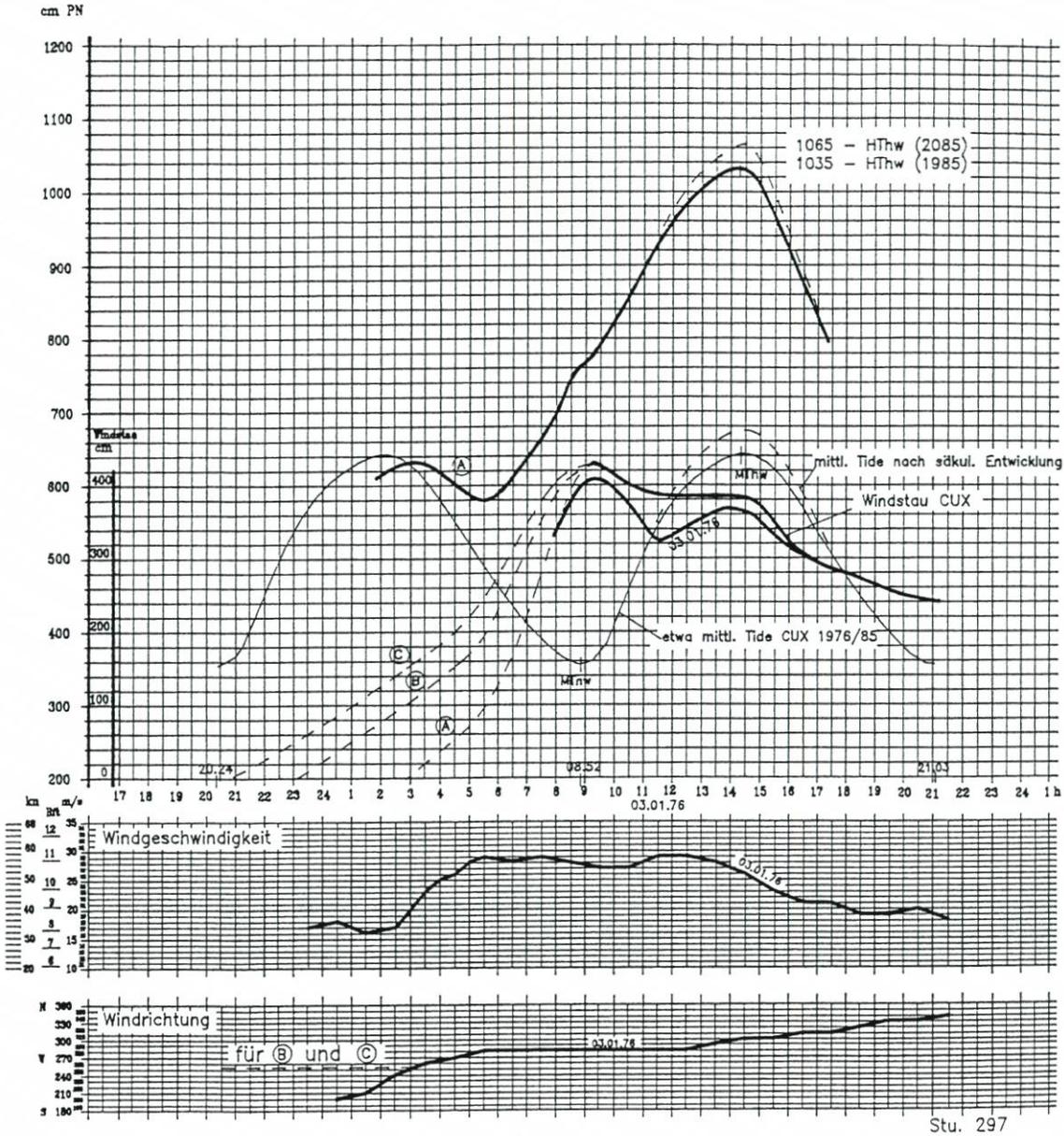
Als mittlere Tidekurve wurde das Mittel der letzten 10 Jahre gewählt, um einen repräsentativ langen Zeitraum zu haben, in dem auch der Oberwasserzufluß etwa dem langjährigen Mittel entspricht. Die mittlere Tidekurve ist in ihrem gesamten Verlauf durch topographische, periodische (astronomische) und aperiodische (meteorologische) Faktoren beeinflusst. Ein Vergleich der Kurvenparameter für Cuxhaven zeigt folgendes Bild:

Parameter	mittlere Tidekurven Cuxhaven		von der AG 1986 festgelegt
	1976/85	1986/95	
Tidehochwasser (MThw)	1,48 m NN	1,50 m NN	1,50 m NN
Tideniedrigwasser (MTnw)	-1,53 m NN	-1,47 m NN	-1,55 m NN
Tidehub (MThb)	3,01 m	2,97 m	3,05 m
Flutdauer (T_F)	5:42 h	5:38 h	5:40 h
Ebbdauer (T_E)	6:43 h	6:47 h	6:45 h

Der Kurvenverlauf ist auf Abb. 2 zusammen mit der Sturmtidekurve aufgetragen. Seinzeit wurden die Scheitelwerte auf 5 cm und 5 min auf- bzw. abgerundet. Der Vergleich in obiger Tabelle zeigt, daß die Abweichungen minimal sind und keine Veranlassung geben, die 1986 festgelegte mittlere Tidekurve zu verändern. Der etwas geringere Tidehub aus 1986/95 schafft sogar noch ein gewisses Maß an zusätzlicher Sicherheit.

Es hätte die Gelegenheit bestanden, auch bereits das Mittel 1987/96 zum Vergleich heranzuziehen. Darauf wird verzichtet, weil die Jahresmittel 1996 aus dem allgemeinen Trend deutlich nach unten abweichen (in Cuxhaven war z. B. das niedrigste Tnw des Jahrhunderts zu verzeichnen):

maßgebende Sturmflidekurven Cuxhaven



Stu. 297

Abb. 2: Mittlere Tidekurven Cuxhaven, Windstaukurven für Cuxhaven und Windverhältnisse im Elbmündungsgebiet für die Bemessungssturmflut

Jahr	MThw (cm NN - 5 m)		MTnw (cm NN - 5 m)	
	Cuxhaven	Hmb.-St. Pauli	Cuxhaven	Hmb.-St. Pauli
1991	641	696	347	344
1992	646	701	353	353
1993	649	708	353	345
1994	653	714	351	355
1995	662	724	358	367
1996	635	688	335	336

Der Jahrgang 1996 fällt damit genauso deutlich heraus wie der Jahrgang 1947. Eine Einrechnung würde scheinbare zusätzliche Sicherheit zeigen oder Korrekturen der Bemessungswerte nach unten zur Folge haben.

3.1.2 Windstaukurve

Die maßgebende Sturmidekurve wird aus der Addition der mittleren Tidekurve und einer extremen Windstaukurve gebildet (Abb. 2). Zur Bestimmung der letzteren stehen Windstaukurven aller Sturmtiden seit 1901 zur Verfügung (insgesamt 255 Ereignisse bis 1995), darüber hinaus die Windstaukurven aller hohen Sturmfluten des 19. Jahrhunderts (SIEFERT, 1969). Als Sturmfluten werden dabei alle Tiden gewertet, deren Windstau in Cuxhaven mindestens 2 m erreicht.

Entscheidend für die Höhe einer Sturmflut ist der Windstau um die MThw-Zeit in Cuxhaven. Aus dem Kollektiv der hohen Sturmfluten der letzten 175 Jahre ergeben sich als Höchstwerte:

W (MThw) = max. Windstau um MThw in cm	Datum
375	16./17. 2. 1962
365	3. 1. 1976
360	3./4. 2. 1825

Dazu ist anzumerken, daß 1962 eine Fernwelle bei Nipptide aufgetreten sein soll, 1825 dagegen Springtide herrschte. Die höchsten bisher in Cuxhaven ermittelten Windstaumaxima traten allerdings um die MTnw-Zeit auf, und zwar:

W (MTnw) = max. Windstau um MTnw in cm	Datum
430	23. 12. 1894
430	23. 2. 1967
410	3. 1. 1976
400	10. 2. 1949

Bei der Rekonstruktion der Sturmflut von 1825 wurde ein max. Windstau von 440 cm ermittelt (SIEFERT, 1969). Wegen der verbleibenden Unsicherheit wird dieser Wert aber nicht berücksichtigt.

Durch Wechselwirkungen zwischen Windstau, astron. Tide und Wassertiefen muß sich bei sonst gleichen Verhältnissen der Stau um MThw niedriger als um MTnw entwickeln. Um dieses Phänomen näher zu untersuchen, wurden alle Sturmfluten in Cuxhaven herangezogen, bei denen der Wind sich über die Tide nicht wesentlich veränderte. Da gesicherte Winddaten erst ab 1965 zur Verfügung stehen, verbleiben die 27 Ereignisse der folgenden Tab.:

Sturmflut	W(MTnw) cm	W(MThw) cm	W(MThw)/W(MTnw) %
31. 10. 1965	220	140	64
2. 1. 1965	340	230	68
19. 12. 1966	240	150	63
18. 12. 1974	215	185	86
26. 1. 1975	215	185	86
3. 1. 1976	410	365	89
1./2. 1. 1981	295	150	51
24. 11. 1981	350	300	86
20. 11. 1982	220	180	82
16. 12. 1982	290	225	78
18. 1. 1983	325	220	68
17. 1. 1984	220	120	55
21. 10. 1984	210	120	57
8. 10. 1988	270	160	59
5. 12. 1988	250	200	80
24. 12. 1988	210	190	91
26. 1. 1990	340	160	47
27. 2. 1990	360	300	84
20. 8. 1990	270	150	56
12. 12. 1990	225	120	53
27. 12. 1990	210	100	48
17. 10. 1991	280	80	29
17./18. 10. 1991	245	100	41
20. 11. 1992	220	160	73
9. 12. 1993	220	180	82
20. 12. 1993	300	200	67
24. 1. 1994	250	100	40

Für das gesamte Kollektiv von 27 Sturmfluten ergeben sich:

Mittel:	67 %	(bis 1988: 73 %)
Max.:	91 %	(bis 1988: 89 %)
Min.:	29 %	(bis 1988: 51 %)

Bisher wurde der Wert von 90 % als maßgebend verwendet. Es besteht kein Grund, davon abzuweichen. Daß der Weg über die Betrachtung der Niedrigwasser-Stauwerte überhaupt beschritten wird, hat zwei Gründe. Zum einen ist das Kollektiv mit hohem Stau um MThw nur klein, zum anderen sind nun einmal die Maximalwerte um MTnw aufgetreten und können nicht einfach vernachlässigt werden.

Zur Ermittlung des maßgebenden Windstaus wird also weiterhin mit dem maximalen Verhältnis

$$W(MThw) : W(MTnw) = 90 \%$$

gerechnet, um die ungünstigste Übertragung auf das Hochwasser zu erfassen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Staubeträge um MTnw mögliche Anteile aus Fernwellen, Schwin-

gungen usw. enthalten (wie ja auch die Werte um MThw), jedoch keine Springeinflüsse. Denn die SpTnw sind niedriger als die zur Stauermittlung verwendeten MTnw, und zwar in Cuxhaven i. M. um rd. 25 cm, die dann in der mittleren Tidekurve enthalten sind. Das o. a. Verhältnis enthält also bereits den Springeinfluß um MThw bei der Übertragung des MTnw-Staus auf das MThw, soweit er auftrat. Wenn bei Sturmfluten die Stauentwicklung überhaupt auf die Springtidewasserstände reagierte, was nach neuen Untersuchungen aber unwahrscheinlich ist¹, wären zu erwarten:

- Stau um MTnw erhöht wegen geringerer Wassertiefe;
- Stau um MThw ermäßigt wegen größerer Wassertiefe;
- daraus folgend kleineres Verhältnis $W(MThw) : W(MTnw)$ als über mittlere Tide berechnet;
- bei Springtide andere (meist steilere) Gefälleverhältnisse in der Deutschen Bucht, die sich auf die Stauentwicklung auswirken;
- daraus ohnehin folgend ein Verbot linearer Überlagerung (Addition) von Spring- und Stauwerten, die nicht gleichzeitig aufgetreten sind.

Um die Repräsentanz des maximalen Verhältnisses $W(MThw)/W(MTnw) = 0,91$ am 24. 12. 1988 zu unterstreichen, sei auf ein numerisches Ergebnis des DÄNISCHEN HYDRAULISCHEN INSTITUTS in deren Nordseemodell hingewiesen. Dort wurden die Stauwerte in Cuxhaven für die meteorologische Situation am 3. 1. 1976 sowie die Fälle von Phasenverschiebungen um 3 h bzw. 6 h gegen die Tide untersucht: Der (in der Natur eingetretene) maximale Stau um MTnw mit 410 cm verschiebt sich schließlich auf die Zeit nach MThw und erreicht um MThw etwa 340 cm, also 83 % (SIEFERT u. HAVNØ, 1989). – Außerdem wurden die Sturmfluten von 1901 bis 1964 trotz unzureichender Winddaten auf das Verhältnis $W(MThw) : W(MTnw)$ untersucht. Dabei ergaben sich für 14 Ereignisse Werte von 63 % bis 83 %, i. M. 73 %.

Damit sollte der Stau für eine maßgebende Windstaukurve folgendermaßen festgelegt werden:

max. Stau um MTnw: 430 cm
 um MThw: $430 \cdot 90\% = 385$ cm
 (zum Vergleich: bisher gemessener Höchstwert 375 cm)

Abb. 3 zeigt die aktualisierte Darstellung für die höchsten gemessenen Windstauwerte (meist bei Tnw). Es gibt gegenüber den Ausführungen von 1988 im wesentlichen zwei Änderungen:

- wegen des (unsicheren) Wertes von 1825 wird 430 cm als „überschritten“ bezeichnet;
- Darstellung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten in 5-cm-Schritten.

Für die hier entscheidenden Windstauhöhen bei Thw sind auf Abb. 4 die Höhen über 275 cm ebenfalls in einfach-logarithmischer Teilung dargestellt, dazu

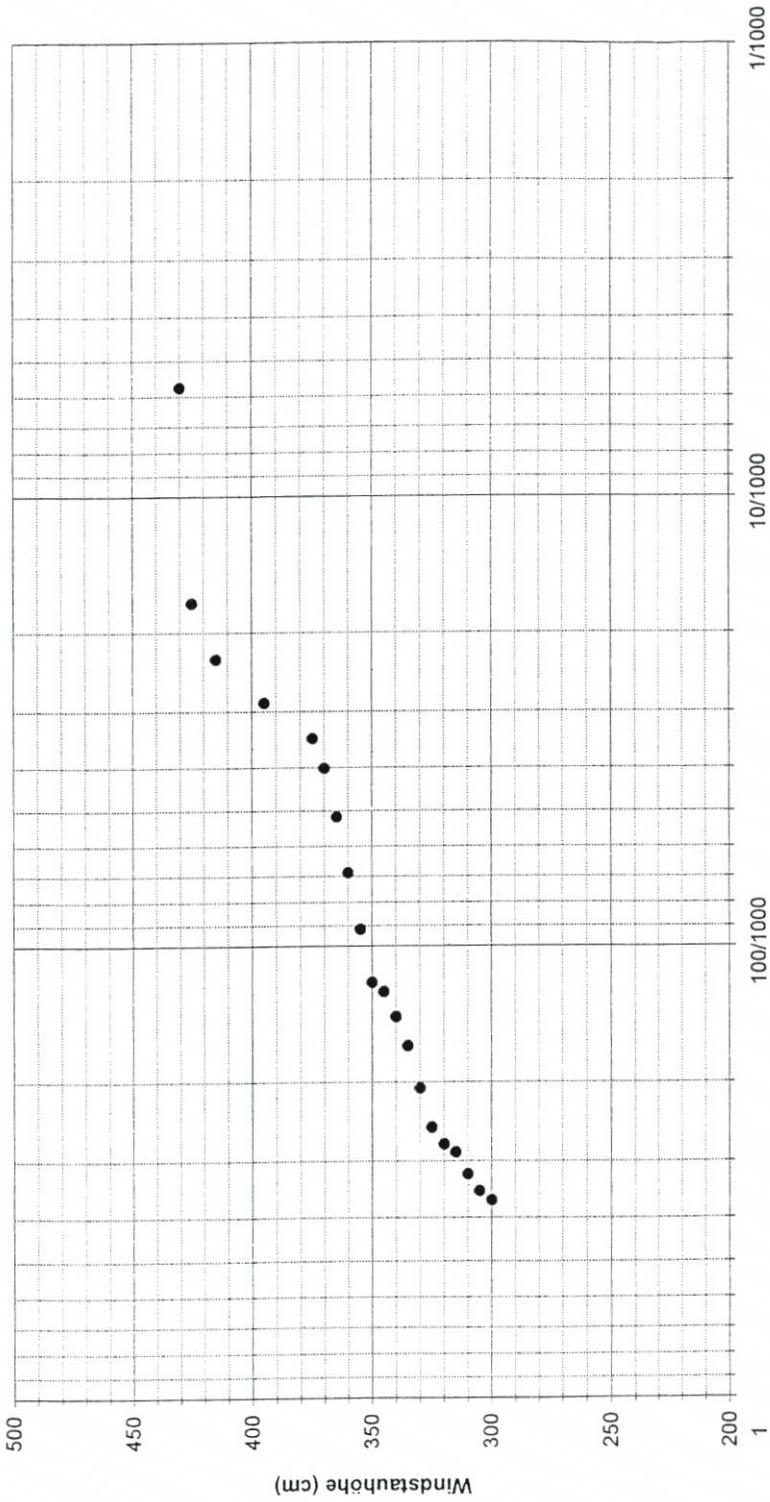
- linearer Ausgleich über die höchsten 12 Werte (konservativ, auch in den Niederlanden empfohlen)
- exponentieller Ausgleich über die höchsten 7 Werte sowie
- exponentieller Ausgleich über die höchsten 3 Werte.

Zu bedenken ist, daß bei einem Datensatz über 175 Jahre die Extrapolationsgrenze etwa bei 500 Jahren liegt. Der bisher verwendete Wert von 385 cm wird je nach Extrapolation eine Wahrscheinlichkeit der Überschreitung zwischen 1:180 und 1:530 Jahren haben.

Abb. 5 zeigt ergänzend die Größe und Phasenlage des Windstaumaximums in Cuxhaven für die 10 höchsten Sturmfluten in der Elbe seit 1901.

¹ Siehe dazu SIEFERT u. LASSEN (1985) über Windstau-Kennlinien im Küstenvorfeld

Überschreitungshäufigkeiten von Windstauhöhen in Cuxhaven von 1821 bis 1996



Häufigkeit

Abb. 3

Mögliche Extrapolationen der Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Windstauhöhen um Hochwasser in Cuxhaven auf Basis von Daten der Jahre 1821 bis 1996

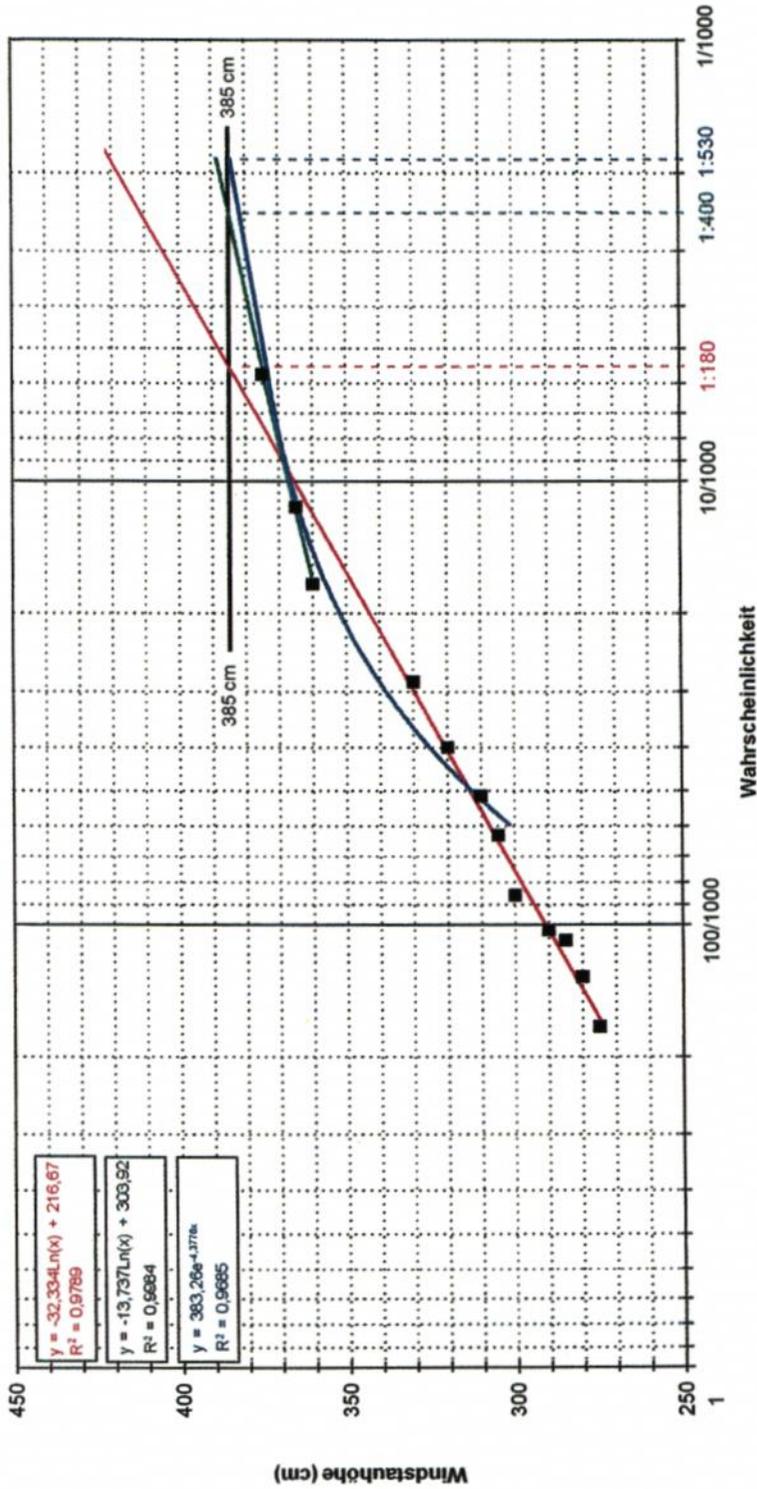
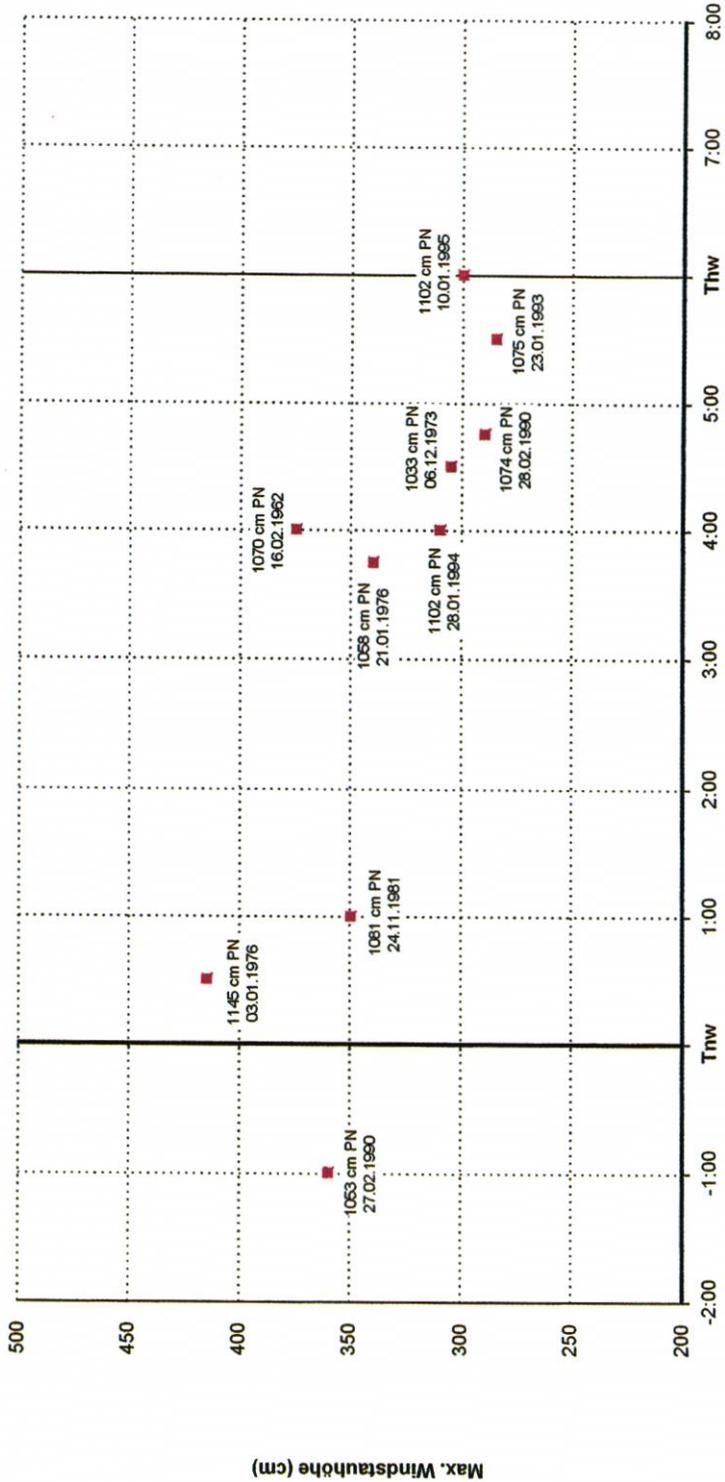


Abb. 4

Tidephase der maximalen Windstauhöhen in Cuxhaven für die 10 höchsten Sturmfluten in Hamburg seit 1901



Stunden vor bzw. nach astr. Niedrigwasser in Cuxhaven

Abb. 5

Die bisher maßgebende Windstaukurve wird daher nicht verändert. Begründung: Bei T_{nw} erreicht sie den größten in 175 Jahren sicher ermittelten Wert; bei T_{hw} wird mit 385 cm eine bisher nicht erreichte Höhe mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von rd. 1:200 bis 1:500 Jahren verwendet.

Von MT_{nw} bis nach $MThw$ ist die Windstaukurve einem realistischen Verlauf angepaßt. Der für die Elbe ungünstigste Anstieg der Kurve vor MT_{nw} wurde in den vorgesehenen Modellen ermittelt.

3.1.3 Säkulare Entwicklung

Da die Wasserstände im Ästuar durch Maßnahmen in und an der Elbe beeinflusst sind, sollen die Veränderungen an der Mündung in Cuxhaven näher beleuchtet werden, um Aufschluß über zu erwartende Höhen zu gewinnen.

Abb. 6 bis 11 zeigen die Jahreswerte in Cuxhaven und (zum Vergleich) Brunsbüttel, Stadersand und Hamburg-St. Pauli mit folgenden Trends an der Küste in Cuxhaven:

1850 bis 1996:	$MThw$: 22 cm/Jh
	MT_{nw} : 12 cm/Jh
	$MThb$: 10 cm/Jh
1900 bis 1996:	$MThw$: 23 cm/Jh
	MT_{nw} : 6 cm/Jh
	$MThb$: 17 cm/Jh

Daraus ergibt sich kein Grund, die bisherige Festlegung bei der mittleren Tidekurve mit

$MThw$: 30 cm/Jh
MT_{nw} : 0 cm/Jh

als Pessimum zu verändern. Der nächsten routinemäßigen Überprüfungen der Trends bleibt es vorbehalten, einen anhaltenden MT_{nw} -Anstieg zu berücksichtigen (und damit den Energieeintrag in die Elbe zu reduzieren).

So ist bis 2085 die in Abb. 2 skizzierte „mittlere Tidekurve nach säkularer Entwicklung“ unverändert maßgebend. Durch Überlagerung mit der unter 3.1.2 ermittelten Windstaukurve ergibt sich eine höhere maßgebende Sturmidekurve als für 1985.

3.2 Sonstige Vorgaben für die Modelluntersuchungen

Außer der maßgebenden Sturmidekurve tragen auch der Wind über der Elbe und der Oberwasserzufluß zum Entstehen der örtlichen Wasserstände bei. Diese Faktoren müssen deshalb ebenfalls in maßgebender Größe in das Modell eingegeben werden.

3.2.1 Wind über der Elbe

Als Ergebnis der meteorologischen Verhältnisse über dem Atlantik und der Nordsee wird die Windstaukurve von Cuxhaven in das Modell eingegeben. Wirksam wird dann noch der Wind über der Unterelbe, der nach Vergleichen aber schon schwächer als über der Deutschen Bucht ist. Dennoch wurde für die drei 1986 durchgeführten Berechnungen der auf Scharhorn gemessene Wind für die untere Modellgrenze angesetzt, und zwar mit den bisher gemessenen Höchstwerten:

Mit 29 m/s über 4 Stunden stellt die Windgeschwindigkeit am 3. 1. 1976 das Maximum

MThw Cuxhaven und St. Pauli

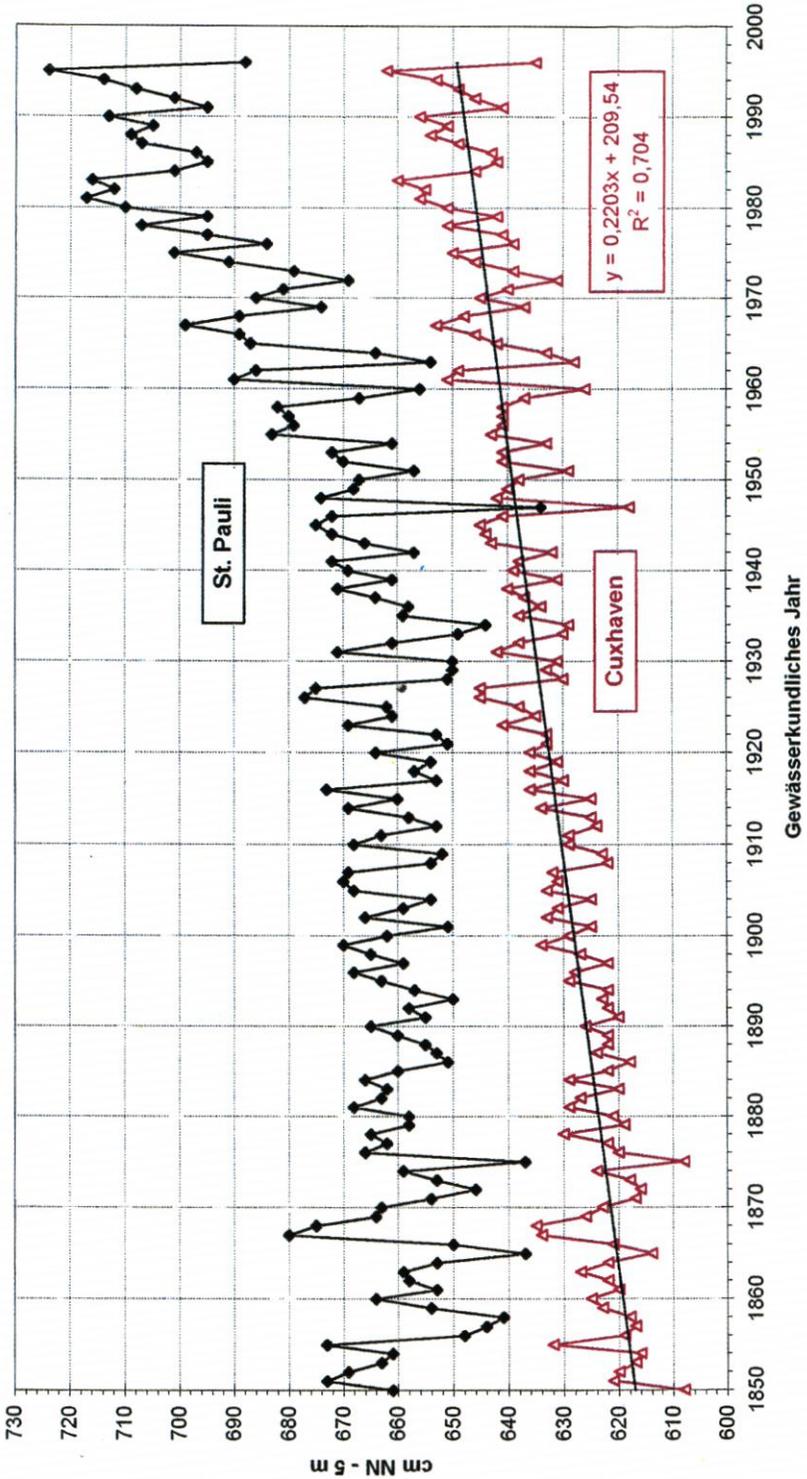


Abb. 6

MTnw Cuxhaven und St. Pauli

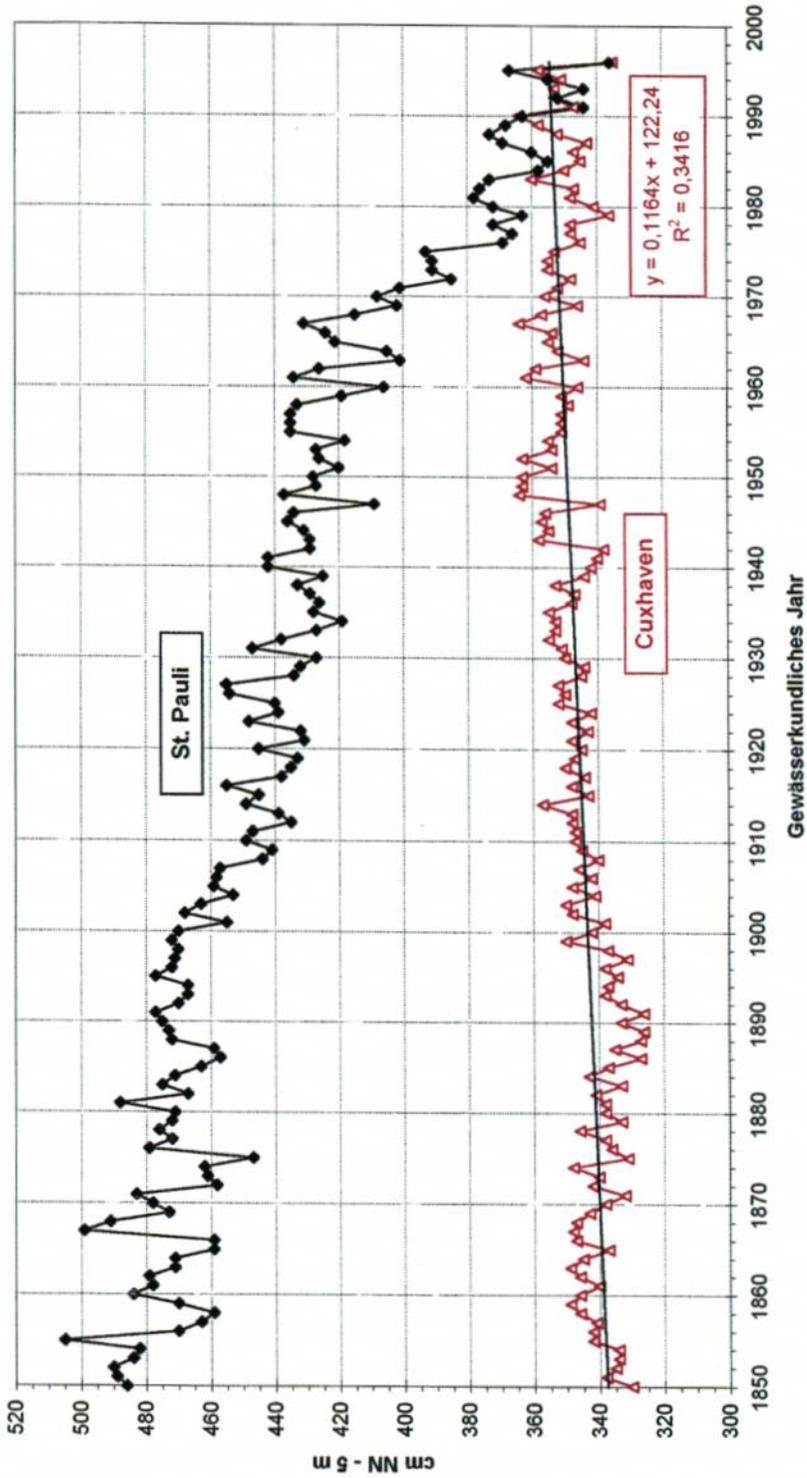


Abb. 7

MThb Cuxhaven und St. Pauli

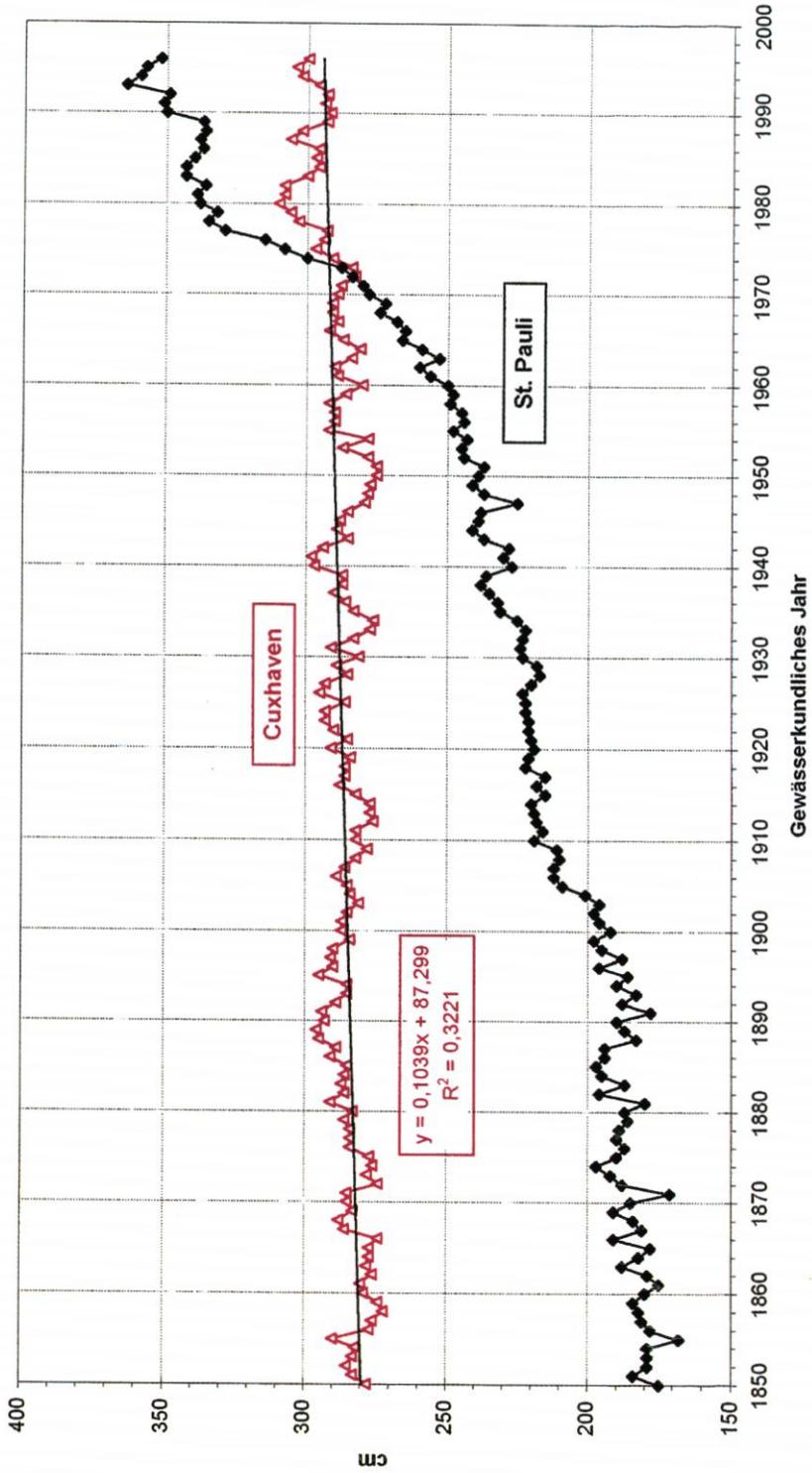


Abb. 8

MThw Cuxhaven, Brunsbüttel, Stadersand und St. Pauli

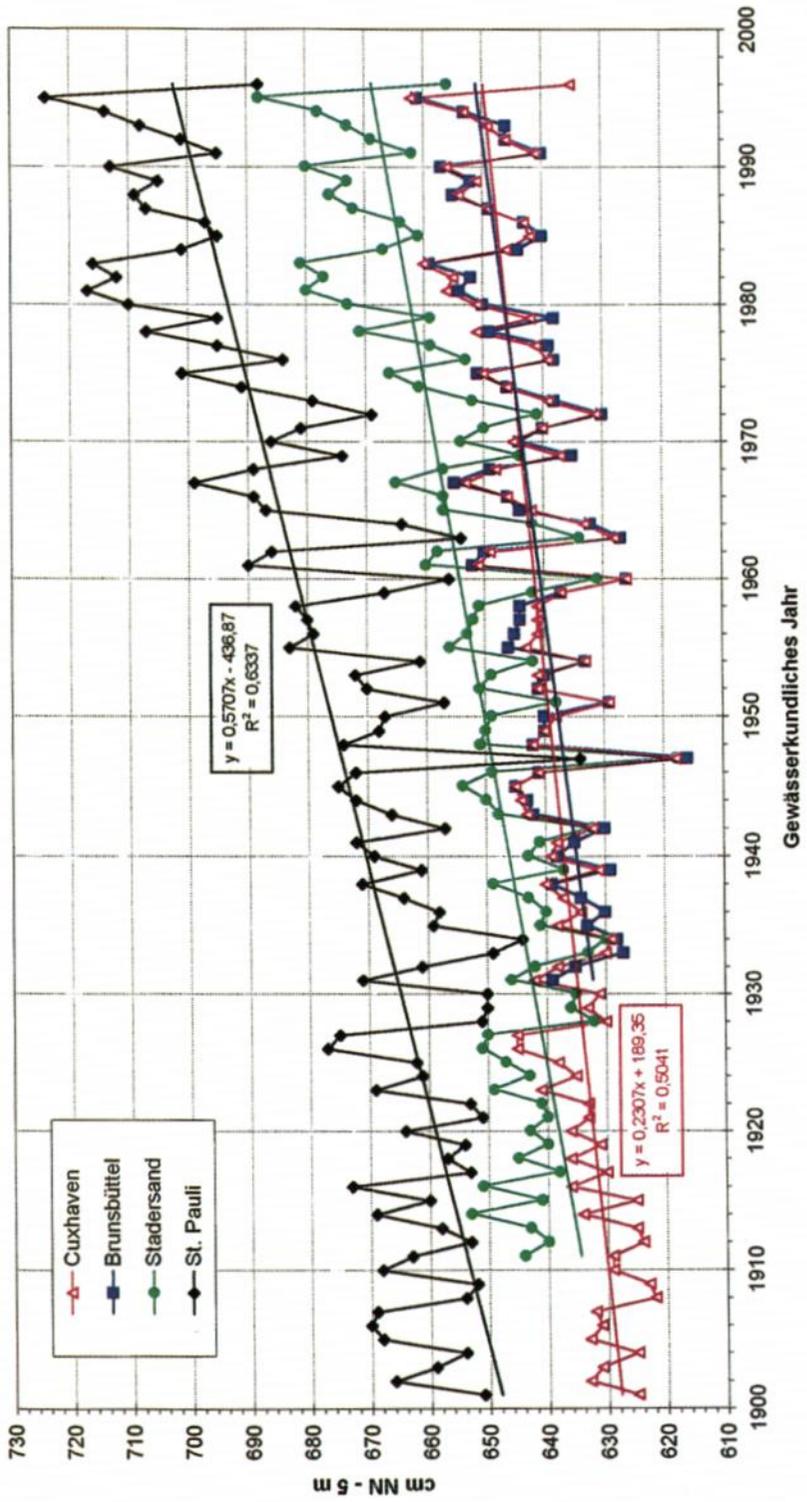


Abb. 9

MTnw Cuxhaven, Brunsbüttel, Stadersand und St. Pauli

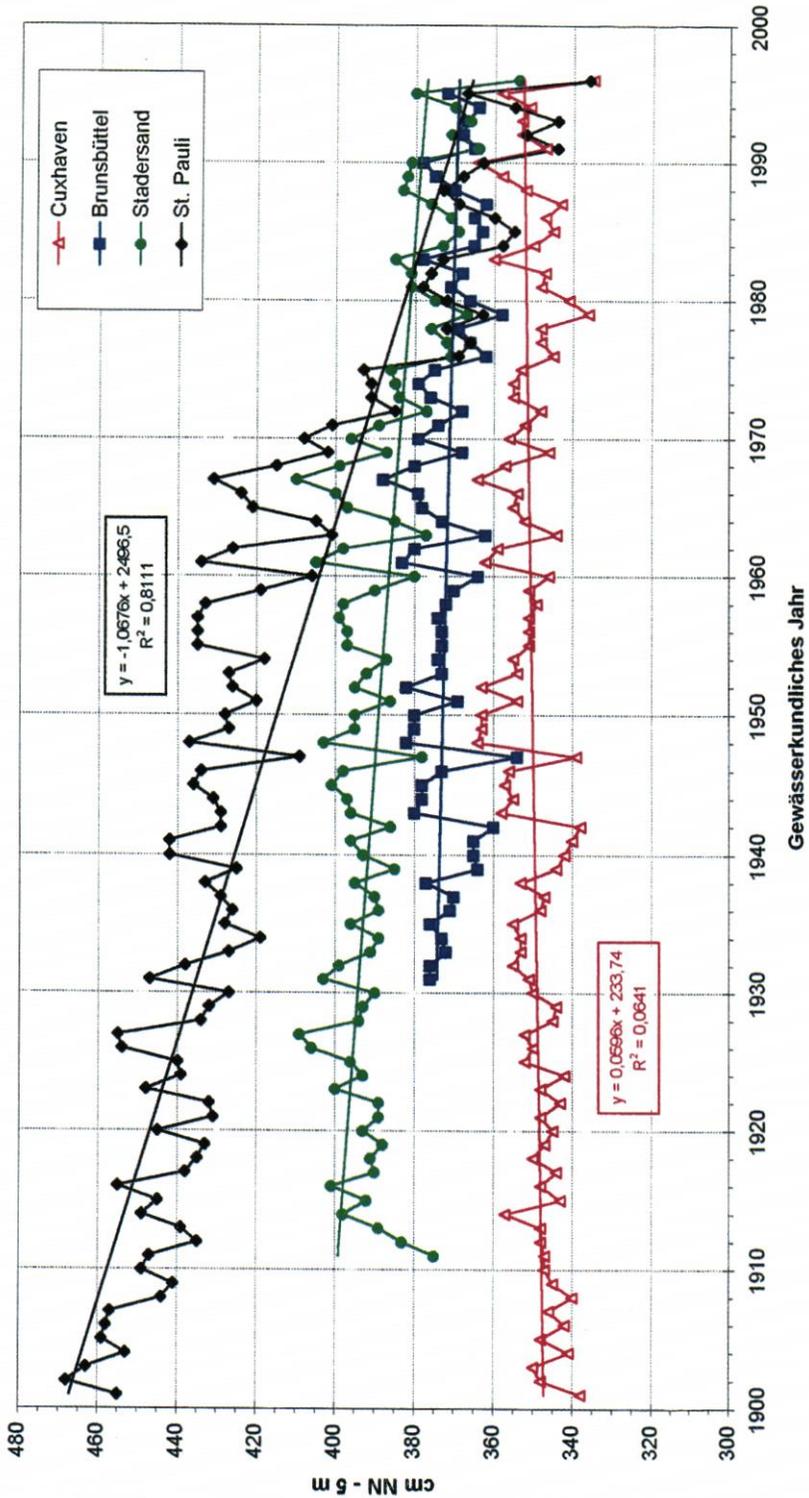


Abb. 10

MThb Cuxhaven, Brunsbüttel, Stadersand und St. Pauli

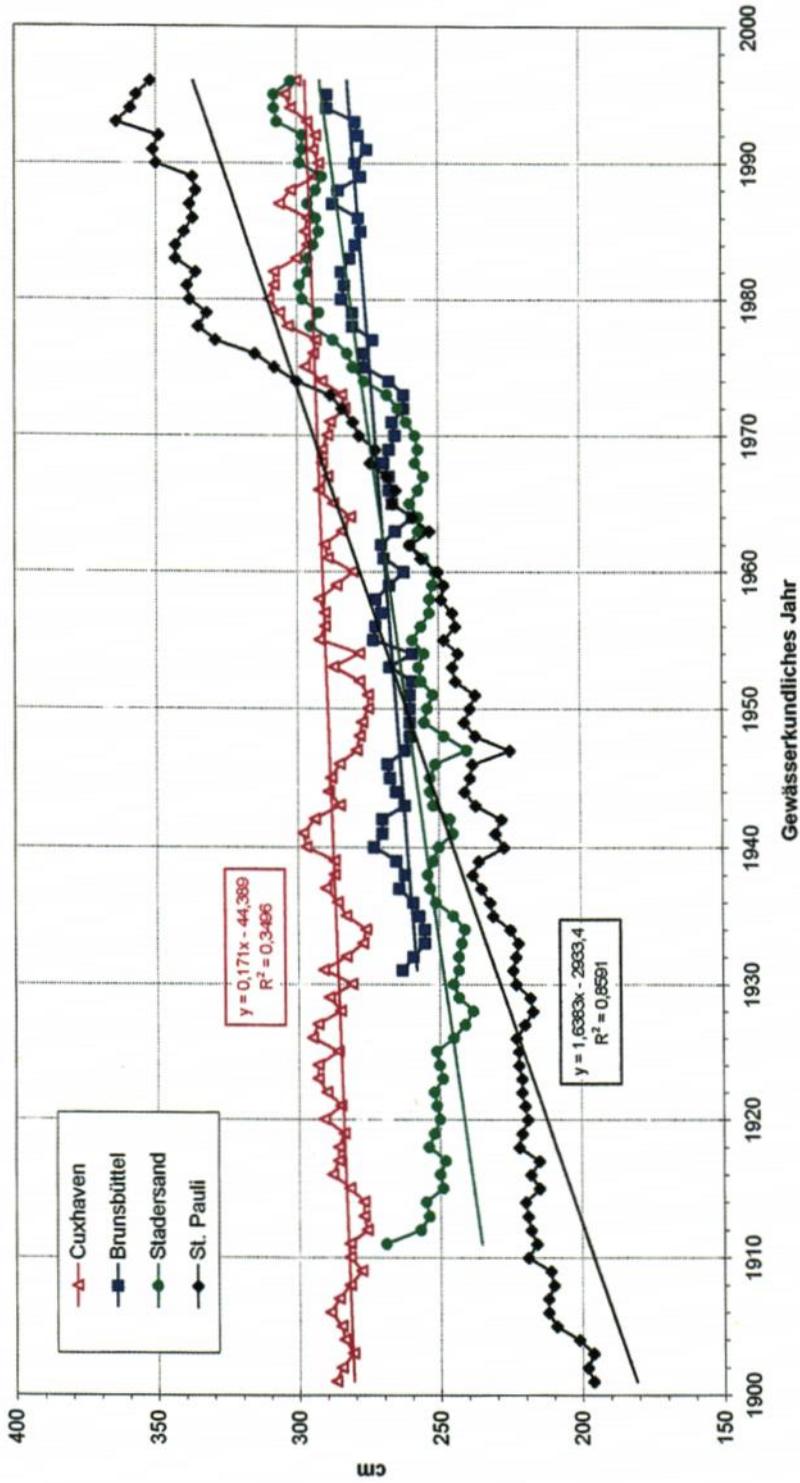


Abb. 11

dar, das auch 1962 nicht erreicht wurde. Am nächsten kommt ihm der 23./24. 2. 1976 mit 29 m/s über 3 Stunden. Höhere Geschwindigkeiten wurden kaum, und dann nur für kurze Zeit, gemessen.

Inzwischen wurden von der BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, AUSSENSTELLE KÜSTE (1996) im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung für die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe umfangreiche Modellrechnungen für den topographischen Zustand 1992 durchgeführt, u. a. mit der Bemessungssturmflut 2085 A. Dabei wurde der Bemessungswind nach einem Modell des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES über der Elbe naturähnlich variiert.

Die Ansätze in Anlehnung an die Sturmflut vom 3. 1. 1976 bleiben also bestehen. Folgenden Hinweisen soll in Zukunft nachgegangen werden:

- a) Aussagen von SCHMIDT (1994) wie auch von VON STORCH (1994) zur möglichen Zunahme stärkerer Stürme²;
- b) Aussagen von GÖNNERT aus dem laufenden KFKI-Projekt zur Zunahme der Dauer von Windstaukurven;
- c) In den Niederlanden wurden zur Risikoabschätzung bisherige extreme Stürme in ihrer Tidephase, Stärke (bis auf 175 %), Dauer und geographischen Position variiert. – Ähnliches hat STROM- UND HAFENBAU vor 10 Jahren gemacht (SIEFERT u. HAVNØ, 1989);
- d) Untersuchungen der BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU – AUSSENSTELLE KÜSTE in einem 1997 begonnenen KFKI-Projekt zur Wirkung des lokalen Windes über den Ästuaren.

3.2.2 Oberwasserzufluß

Alle neueren Untersuchungen zeigen, daß der Stau in Cuxhaven weitgehend unbeeinflußt vom Oberwasserabfluß Q_o ist, der in Neu-Darchau gemessen wird.

Es ergaben sich zwei Fragen, nämlich nach

- der als Abfluß zu wählenden Wassermenge und
- dem Einfluß von Q_o auf die HThw-Höhen.

² SCHMIDT (1994): „Aus den vorliegenden langen Reihen der objektiven Meßwerte des Luftdruckes ergeben sich für den Nordatlantik und die Deutsche Bucht keine Anzeichen für einen säkularen Trend im Wind. Es resultieren lediglich Hinweise auf ausgeprägte langperiodische Schwankungen des Klimasystems. Die überdurchschnittlich hohen Windwerte und Tiefdrückhäufigkeiten der letzten Jahre sind teils die höchsten Werte des Jahrhunderts. Es kann aber mit den anerkannten Methoden der Klimadiagnostik nicht nachgewiesen werden, daß sie nicht Bestandteil des Gesamtkollektivs sein können (einfacher ausgedrückt: sie müssen noch als Ausdruck des normalen Klimageschehens angesehen werden). Damit ist auch eine meteorologische Ursache für eine eventuelle säkulare, trendartige Veränderung des Sturmflutgeschehens nicht erkennbar.“

VON STORCH (1994): „Was die Stürme in unseren Breiten angeht, so gilt für die Hamburger Klimamodellrechnungen:

- Es deutet sich eine langsame Intensivierung der Sturmätigkeit an, die aber so gering ist, daß die Nachweisgrenze für so eine Veränderung erst in Jahrzehnten erreicht wird - wenn überhaupt.
- Bisherige Beobachtungsdaten, die frei von zeitlich sich ändernden Meß- und Analysefehlern sind, deuten eine derartige Entwicklung nicht an.

In der Öffentlichkeit geäußerte Aussagen, wonach die „extremen Schwankungen und ungewöhnlichen Wettererscheinungen“ in Zukunft zunehmen werden, werden von den Klimamodellen nicht gestützt.“

Zum Abfluß für die maßgebende Sturmflut:

- MQ_0 liegt zwischen 700 und 800 m^3/s
- HHQ_0 erreichte 3840 m^3/s (Ermittlung ungenau) am 7. 4. 1895
- bei 255 Sturmfluten seit 1901 traten ein:

Q_0 in m^3/s	Anzahl Sturmfluten	Bemerkungen
1400–1600	9	
1600–1800	6	
1800–2000	4	
2000–2200	1	29. 12. 1974
2200–2600	0	
2600	1	24. 2. 1946; Q_0 unsicher

21 von 255

Niedersachsen verwendete bisher den 1974 bei einer mittleren Sturmflut aufgetretenen Wert von 2150 m^3/s (ING.-KOMMISSION, 1979, S. 33). Neue Erkenntnisse über das mögliche Zusammentreffen hohen Windstaus mit großen Q_0 sind nicht vorhanden. Die Arbeitsgruppe sieht keine Veranlassung, zur Ermittlung der maßgebenden Sturmflut einen höheren Wert zu nehmen. Sie empfiehlt jedoch, den Windstau mit einem auf 2200 m^3/s aufgerundeten Oberwasserzufluß zu kombinieren. Dieser Wert wurde 1926/96 i.M. an drei Tagen im Jahr überschritten.

 Q_0 -Einfluß auf hohe $HThw$ in der Elbe:

Untersuchungen zu diesem Thema mit mehreren sehr hohen Sturmfluten stammen aus verschiedenen Berichten 1984/85 des DÄNISCHEN HYDRAULISCHEN INSTITUTS. Mit der von der Arbeitsgruppe vorgeschlagenen maßgebenden Sturmflut wurde der Einfluß mit Q_0 von 1800, 2200 und 2800 m^3/s festgestellt. Alle Ergebnisse zeigen weitgehende Linearität. Danach werden von der Arbeitsgruppe empfohlen:

Bereich	$\Delta HThw$ in $cm/1000 m^3/s$
von Cuxhaven bis Brunsbüttel	0
bis Stadersand	5
bis Blankenese	7
oberh. Blankenese bis unterh. Bunthaus	10 bis 15
Bunthaus	20
Zollenspieker	22
Altengamme	25

4. Bemessungswasserstände und Sollhöhen der Hochwasserschutzanlagen

4.1 Modellergebnisse

Wie aus dem Text hervorgeht, wurden die Bemessungswasserstände in der Elbe auf der Basis der festgelegten Tide-, Wind- und Stauwerte für Cuxhaven und der Oberwasserwerte in Modellen bestimmt. Die Arbeitsgruppe hielt es 1986 für geboten, zur Absicherung der Er-

gebnisse drei Modelle, die nach unterschiedlichen Systemen konzipiert sind, einzusetzen, und zwar

- das empirische WADI-Modell des Strom- und Hafengebäudebau Hamburg³,
- das eindimensionale Verzweigungsmodell des DÄNISCHEN HYDRAULISCHEN INSTITUTS nach dem dort entwickelten „System 11“⁴ und
- das zweidimensionale Finite-Elemente-Modell des Instituts für Strömungsmechanik der Universität Hannover mit eindimensionalem Teil oberhalb von Hamburg⁵.

Da der Bemessungswasserstand für einen Zeitraum von 100 Jahren gelten sollte, wurden die HThw (2085) aus der Kombination von

$$\text{mittl. Tide 1976/85} + \text{säk. Veränderung (30 cm beim Thw)} + \text{Bemessungs-Windstau (385 cm beim Thw)} + Q_0 (2.200 \text{ m}^3/\text{s})$$

ermittelt. Um jedoch Höhe und Sicherheit der heutigen Hochwasserschutzanlagen hinsichtlich dieses neuen Bemessungswasserstandes beurteilen zu können, wurden auch die HThw (1985) aus

$$\text{mittl. Tide 1976/85} + \text{Bemessungs-Windstau (385 cm beim Thw)} + Q_0 (2200 \text{ m}^3/\text{s})$$

ermittelt. Die Ergebnisse mit der ungünstigsten Windstaukurve (A auf Abb. 2) sind für einige Standorte unten gegenübergestellt. Die darauffolgende Tabelle enthält die daraus abgeleiteten und 1988 veröffentlichten Bemessungswasserstände sowie die neuen Berechnungen der BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (1996). Die Berechnungen gelten für gelegtes Wehr in Geesthacht. Bei geschlossenem Wehr wären bei hohen Sturmfluten die Scheitel im Hamburger Hafen bis zu 10 cm, oberhalb von Bunthaus um 10 bis 40 cm höher (Berechnungen des DÄNISCHEN HYDRAULISCHEN INSTITUTS (1985) mit 4 Sturmfluten).

Ort	Ergebnisse nach den Modellen für die Windstaukurve A					
	WADI		dhi		Institut für Strömungsmechanik	
	HThw (1985)	HThw (2085)	HThw (1985)	HThw (2085)	HThw (1985)	HThw (2085)
Cuxhaven	5,35	5,65	5,35	5,65	5,35	5,65
Otterndorf			5,55	5,85	5,60	5,90
Brunsbüttel			5,90	6,20	5,85	6,15
Brokdorf	6,00 ± 0,1	6,35 ± 0,1	6,05 ± 0,1	6,35 ± 0,1	6,10 ± 0,1	6,40 ± 0,1
Glückstadt			6,20 ± 0,1	6,50 ± 0,1	6,30 ± 0,1	6,60 ± 0,1
Stadersand			6,50 ± 0,1	6,80 ± 0,1	6,60 ± 0,1	6,90 ± 0,1
St. Pauli	6,95 ± 0,2	7,25 ± 0,2	6,95 ± 0,1	7,25 ± 0,1	6,95 ± 0,1	7,30 ± 0,1
Bunthaus			7,10 ± 0,1	7,40 ± 0,1	7,15 ± 0,1	7,45 ± 0,1
Zollenspieker	7,05 ± 0,2	7,30 ± 0,2	7,30 ± 0,1	7,60 ± 0,1	7,35 ± 0,1	7,70 ± 0,1

³ Erläuterungen und Genauigkeiten bei STIEFERT u. CHRISTIANSEN (1983)

⁴ Erläuterungen dazu bei ABBOTT et al. (1973)

⁵ Kurze Beschreibung bei THEUNERT u. ZIELKE (1983)

Bemessungswasserstand nach LÄNDERARBEITSGRUPPE (1988) sowie Berechnungen der BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (1996) für die Bemessungssturmflut im topographischen Zustand von 1992

Ort	Bemessungswasserstand (m NN)	HThw (2085 A) nach BAW/AK (1996) (m NN)
Cuxhaven	5,65	5,65
Altenbruch	5,9	
Ostemündung	6,0	
Brunsbüttel	6,2	6,0
Brokdorf	6,4	6,25
Glückstadt	6,5	6,4
Kollmar	6,7	6,6
Stadersand	6,8	6,8
Lühort	6,9	6,9
Schulau	7,0	7,0
Cranz	7,0	7,1
Blankenese	7,1	7,1
Seemannshöft	7,2	7,2
Reiherstieg	7,3	
Brandshof	7,3	
St. Pauli	7,3	7,3
Baakenhöft	7,3	
Sperrwerk Billwerder Bucht	7,3	
Schöpfstelle	7,4	7,4
Köhlbrandhöft	7,2	
Altenwerder	7,3	7,3
Harburg	7,3	7,3
Spadenland	7,4	
Bunthaus	7,5	7,45
Over	7,5	7,5
Fliegenberg	7,6	
oberhalb Zollenspieker	7,7	7,65
Drage	7,8	
Altengamme	7,8	7,8
Geesthacht	7,9	7,9

4.2 Zum Wellenauflauf

Die Bestickhöhe oder die Oberkante der Hochwasserschutzanlagen muß die Seegangswirkung (Auflauf an Deichen, Reflexion an Mauern) berücksichtigen. Deswegen darf eine Betrachtung des Wellenaufbaus hier nicht fehlen. Die bisher an der Elbe verwendeten Zuschläge wurden geschätzt oder aus Treibsellagen an alten, steilen, heute z. T. nicht mehr vorhandenen Deichen abgeleitet. Dabei ist keineswegs sicher, daß die obere Grenze des Treibels auch den höchsten Wellenaufbau dokumentiert. Außerdem wirkt Treibsel seegangsdämpfend. Wenn nach einer Sturmflut das Treibsel entfernt würde, könnten sich Seegang und Auf-
lauf bei einer folgenden höher entwickeln.

Nach Auffassung der Arbeitsgruppe sollte der Wellenaufbau – wie in den Niederlanden – über den Ansatz

$$R_{0,98} = 0,75 \bar{T} \cdot \sqrt{g \cdot H_{1/3}} \cdot m$$

ermittelt werden (BATJES, 1971). Dabei sind

\bar{T} = mittl. Wellenperiode in s

$H_{1/3}$ = Höhe der kennzeichnenden Wellen in m

g = Erdbeschleunigung in m/s^2

m = Böschungsneigung 1:n

$R_{0,98}$ ist die Höhe, die von 98 % der auflaufenden Wellen nicht überschritten wird und entspricht damit weitgehend der Annahme „keine Überströmung der Deiche“, wie sie Niedersachsen und Schleswig-Holstein bisher schon zugrundelegten und Hamburg seit einiger Zeit ebenfalls.

Die Böschungsneigungen an den Elbdeichen sind in

Niedersachsen: Cuxhaven bis Nordkehdingen 1:6, oberhalb davon 1:4;
oberhalb Hamburg 1:3

Schleswig-Holstein: teils 1:5, teils 1:6

Hamburg: oberhalb Finkenwerder 1:3

Um Auflauf an Deichen und Überlauf bei Wänden berechnen zu können, müssen die Seegangparameter \bar{T} und $H_{1/3}$ bekannt sein. Leider gibt es auf der Elbe so gut wie keine Seegangsmessungen, bei hohen Sturmfluten gar keine. Es liegen nach Messungen von STROM-UND HAFENBAU HAMBURG, der WASSER- UND SCHIFFFAHRTS DIREKTION HAMBURG und vom LEICHTWEISS-INSTITUT der TU Braunschweig nur wenige Anhaltswerte vor, die im ersten Bericht der LÄNDERARBEITSGRUPPE (1988) veröffentlicht wurden. Hamburg ist inzwischen den Weg gegangen, den Wellenauflauf nach numerischen Seegangsberechnungen und Auf- laufmessungen i. M. 1:10 örtlich differenziert zu bestimmen (SIEFERT, 1996). Einen Eindruck von der Berechnung der Auflauhöhen in Hamburg – und in Niedersachsen an der oberen Tideelbe – gibt Abb. 12.

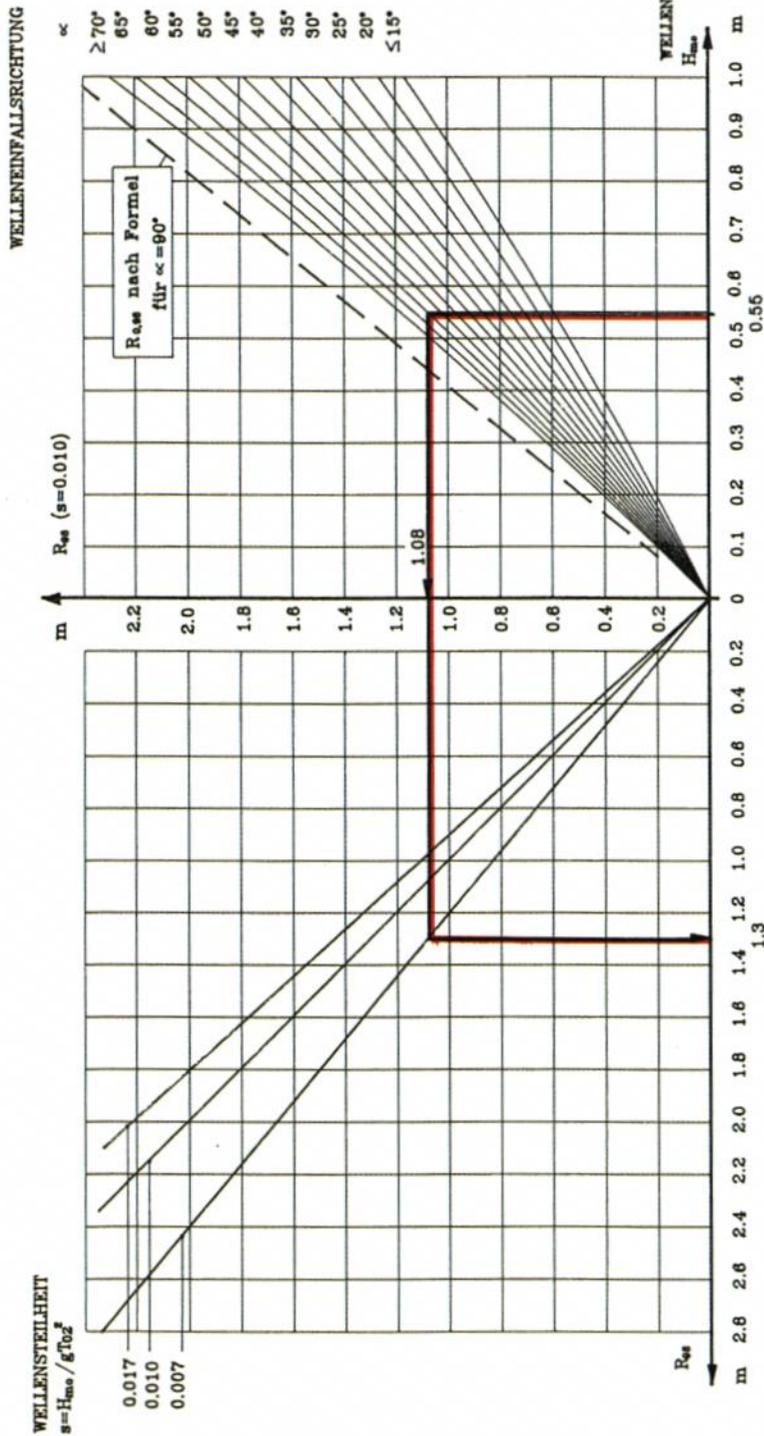
Inzwischen gibt es auch erste Erkenntnisse, daß die o. g. Auflaufformel recht unscharf ist. Damit bietet sich der in Hamburg praktizierte Weg an. Ferner bleibt abzuwarten, welche Ergebnisse vorgesehene Projekte zu Auf- und Überlauf bringen werden. Der Arbeitsaus- schuß empfiehlt dennoch weiterhin ein Seegangs- und Wellenauflauf-Meßprogramm in der Elbe an etwa 10 Punkten über mehrere Jahre.

5. Diskussion alternativer Bemessungsansätze

5.1 Zu den astronomischen Einflüssen

Die Anziehungskräfte der Gestirne und die Drehbewegung der Erde führen etwa alle 2 Wochen zu Springtiden mit besonders niedrigen T_{nw} und besonders hohen T_{hw} . Dabei er- reichen pro Monat etwa 5 Tiden eine Höhe von 30 cm unter MT_{nw} bzw. über MT_{hw} ; Ein- zelwerte sind größer, aber sehr selten. Nach Aussagen des BUNDESAMTES FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE sollen für Cuxhaven maximale T_{hw} -Erhöhungen von 60 cm durch astronomischen Einflüsse möglich sein. Genaue Unterlagen oder Berechnungen sind der Ar- beitsgruppe nicht bekannt. Für 1984/86, also rd. 2100 Tiden, lagen z. B. die höchsten be- rechneten T_{hw} weniger als 50 cm über den MT_{hw} und traten im Sommer auf. Es ist festzu- halten, daß der Springeinfluß elbaufwärts abnimmt. Aus den BSH-Berechnungen leitet die Arbeitsgruppe folgende Hinweise ab:

Ort	Sp T_{hw} cm über MT_{hw}	Sp T_{nw} cm unter MT_{nw}
Cuxhaven	30	25
Hamb. St.-Pauli	25	8



Nomogramm zur Bestimmung von R_{95} als Funktion von Wellenhöhe (H_{mo}), Welleneinflussrichtung (α) und Wellensteilheit (s) für eine Böschung 1:3
 Beispiel: $H_{mo}=0.55$ m, $s=0.010$, $\alpha=60^\circ$ ergibt auf der rechten Seite des Nomogrammes: $R_{95}=1.08$ m
 Wenn $s=0.007$, ergibt die linke Seite des Nomogrammes: $R_{95}=1.30$ m

Abb. 12

Eine Untersuchung der Spring- und Nippscheitel in Hamburg von 1941 bis 1980 ergab für die heutigen Verhältnisse: MSpThw rd. 15 cm über MThw, MSpTnw rd. 5 cm unter MTnw (SIEFERT, 1982, S. 22).

Aus den Unterlagen des noch nicht abgeschlossenen KFKI-Projektes „Windstauanalysen“ sind vorab nach Auskunft von GÖNNERT folgende Erkenntnisse zu nennen:

- Von den 192 Sturmfluten des Projektkollektivs liegen 32 im engeren Springtidezeitraum, d. h. der eigentliche Windstau um Thw ist um den Springeinfluß vergrößert;
- 15 dieser 192 Sturmfluten traten während des engeren Nipptidezeitraumes auf;
- die astronomischen Höhenänderungen überschritten 50 cm nicht.

5.2 Zu Fernwellen

Es gibt keine vollständigen Fernwellen-Erfassungen, da die Registrierungen an der englischen Ostküste, wo die Wellen bei ihrem Lauf vom Atlantik in die Deutsche Bucht identifiziert werden müssen, im Sommerhalbjahr unterbrochen werden. Die Ergebnisse des älteren Schrifttums (um 1960) sind heute z. T. umstritten. KOOPMANN (1962) ermittelte für Fernwellen von 1949 bis 1962

- Höhen zwischen 0,3 und 1,2 m (bzw. 1,7 m für schnell über die Nordsee ziehende Tiefdruckgebiete)
- Perioden zwischen 7 und 24 h
- Scheitel zu 90 % um MTnw eintretend.

Im Rahmen des o. g. KFKI-Projektes werden Daten des BSH von 1970 bis 1995 ausgewertet. Fernwellen werden definiert nach der Höhe in Aberdeen, die oberhalb der Normaltide erreicht werden. Sie werden erfaßt, wenn sie eine Höhe oberhalb der „alltäglichen Schwingung“ erreichen, d. h. ≥ 40 cm sind. Eine projektorientierte Überarbeitung des Kollektivs erbrachte eine Anzahl von 76 Fernwellen in Aberdeen, die auch in Immingham und Cuxhaven als erhöhter Wasserstand ankamen. Aus diesem Kollektiv ergeben sich folgende Erkenntnisse:

1. Die Dauer der Fernwelle wird in Aberdeen ermittelt, indem der Zeitraum mit Höhen in Aberdeen > 20 cm als Dauer gilt. Nach diesem Kriterium reicht die Dauer von 8 h bis 36 h. Vereinzelte Ausnahmen (5x) erreichen eine Dauer von 40 bis 91 h. Dies ist aber mit langen andauernden „surges“ oberhalb von 20 cm in Aberdeen zu erklären, die als Fernwelle nicht immer zu deuten sind. Es wurde klar, daß die Dauer in Cuxhaven wesentlich kürzer ist.
2. Die Höhen dieser Fernwellen reichen in Aberdeen von 0,3 m bis 1,1 m.
3. Der Reststau, der in Cuxhaven ankommt und als Fernwellenhöhe außerhalb des Windinflusses interpretiert werden könnte, reicht von 0,1 bis 1,1 m.

Auch die Fernwellen sind in den Windstaukurven enthalten (Kap. 3.1.2).

5.3 Zur Eintrittswahrscheinlichkeit der maßgebenden Sturmflut

Der Vorschlag der Arbeitsgruppe entspr. Kap. 2 und 3 basiert nicht auf Eintrittswahrscheinlichkeiten von Scheitelwerten. Da in den Nachbarländern der Bundesrepublik aber vielfach damit gearbeitet wird, folgen einige Erläuterungen zur Eintrittswahrscheinlichkeit der Scheitelhöhe der maßgebenden Sturmflut.

In einer umfangreichen Arbeit wurden von JENSEN Anpassungsfunktionen für verschiedene Sturmflut-Zeitreihen an 10 Küstenpegeln getestet. Die dabei als beste identifizierte mit dem Jenkinson-Parameter liefert für die maßgebende Sturmflut in Cuxhaven mit

HThw (1985) = 5,35 m NN⁶ mit der mittl. Tidekurve 1976/85

HThw (2085) = 5,65 m NN unter Einrechnung der säkularen Veränderungen⁷
folgende Wiederkehrperioden⁸ auf der Basis von zwei untersuchten Zeitreihen:

Scheitelhöhen Cuxhaven (m NN)	Wiederkehrperiode in Jahren aus	
	Zeitraum 1855/1983	Zeitraum 1934/1983
5,35 für 1985	150	(100)
5,65 für 1985	(300)	(200)
5,65 für 2085	150	(100)

Die Vertrauensbereiche liegen bei rd. ± 10 cm. Die eingeklammerten Werte gehen über das 1,5fache des Untersuchungszeitraumes hinaus und sind daher unsicher. Im übrigen ist das Ergebnis wie folgt zu interpretieren:

Die Anpassungsfunktion für die Sturmfluten der letzten rd. 130 Jahre liefert für den Scheitel der maßgebenden Sturmflut in Cuxhaven für den heutigen Zustand eine Wiederkehrperiode von 150 Jahren. Verkürzt man die Zeitreihe auf die letzten 50 Jahre, um den stärkeren Anstieg seit 1950 besser zu berücksichtigen, so verkürzt sich diese Periode auf 100 Jahre. Dieser Wert schien der Arbeitsgruppe 1988 realistisch. Dieselben Wiederkehrperioden werden in 100 Jahren für die HThw (2085) gelten, wenn sich die mittlere Tide wie auf Abb. 2 verändert haben wird. Heute hat ein solches Hochwasser allerdings Wiederkehrperioden von rd. 500 bis rd. 200 Jahren entspr. Abb. 4. Durch die Wahl des Q_0 mit $2200 \text{ m}^3/\text{s}$ wird für einen gleichzeitigen Eintritt von Bemessungsstau und Q_0 oberhalb von Glückstadt für das HThw eine statistisch höhere Sicherheit erreicht, weil ab dort die Wasserstände durch das Oberwasser zunehmend beeinflusst werden.

Ferner wird auf die Interpretation des statistischen Parameters „Wiederkehrperiode“ aufmerksam gemacht: Abb. 13 zeigt, daß das Risiko für den tatsächlichen Eintritt eines Ereignisses mit der Wiederkehrperiode 100 Jahre innerhalb der ersten 100 Jahre nur 63 % beträgt, die Sicherheit gegen den Eintritt also noch 37 %. Erst nach rd. 500 Jahren wird das gen. Ereignis wahrscheinlich einmal eingetreten sein. Es kann in naher Zukunft sein; andererseits braucht man nicht davon auszugehen, daß eine Sturmflut mit HThw (1985) in Cuxhaven innerhalb des nächsten Jahrhunderts überhaupt auftritt, auch wenn es die Wiederkehrperiode 100 Jahre hat.

5.4 Zu Sicherheitszuschlägen

Die bisherigen Verfahren zur Bemessung der Hochwasserschutzanlagen weisen z. T. nicht genau definierte Sicherheitszuschläge aus. Bei dem hier vorgeschlagenen Verfahren mit einer Bemessungsturmflut sind derartige Zuschläge nicht mehr erforderlich, weil die mit den Zuschlägen abgedeckten Einflüsse mit ausreichenden Sicherheiten darin enthalten sind. Zum

⁶ 1,50 m NN + 3,85 m nach Kap. 3.1

⁷ 0,30 m MThw-Erhöhung nach Kap. 3.1.3

⁸ Dieser Ausdruck wird heute häufig für die statistische Wahrscheinlichkeit verwendet.

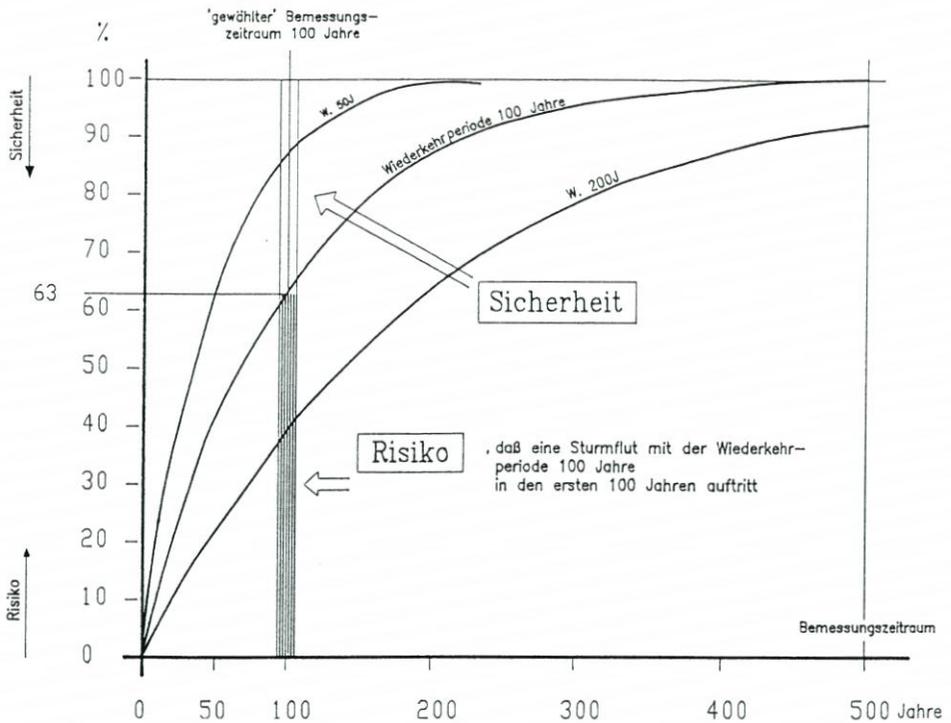


Abb. 13: Risiko und Sicherheit bei statistischen Aussagen

Bemessungswasserstand entspr. der Definition in Kap. 2 muß lediglich ein Wert aus dem örtlich sehr verschiedenen Seegangseinfluß addiert werden, um die Höhe der Hochwasser-schutzanlagen zu erhalten.

Der KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE hatte 1962 vorgeschlagen, bei konzentriertem Gefährdungspotential an Menschen und Sachwerten – wie etwa in Hamburg – zur Festlegung der Sollhöhe einen Zuschlag zu berücksichtigen.

6. Schriftenverzeichnis

- ABBOTT, M. B., RODENHUIS, G. S. u. VERWEY, A.: System 11, „SIVA“, a design system for rivers and estuaries. IAHR-Kongreß-Bangkok, 1973.
- BATTJES, J. A.: Run-up distributions of waves breaking on slopes. J. of Waterways, Harbours and Coastal Eng. Div., ASCE, WWI, 1971.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, AUSSENSTELLE KÜSTE: Tidedynamik bei Sturmfluten. Gutachten im Rahmen der UVU Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe. WSA Hmb. und Strom- und Hafenbau Hmb., 1996 (unveröff.).
- ING.-KOMMISSION: Erfahrungen und Folgerungen aus den Januar-Sturmfluten 1976 für den Küstenschutz in Niedersachsen. Die Küste, H. 33, 1979.
- KOOPMANN, G.: Wasserstandserhöhungen in der Deutschen Bucht durch Schwingungen und Schwall. Dt. Hydr. Z., H. 5, 1962.
- LÄNDERARBEITSGRUPPE: Bemessungswasserstände entlang der Elbe. Die Küste, H. 47, 1988.
- SCHMIDT, H.: Windverhältnisse in der Deutschen Bucht. Baubeh. Hmb., Wiss. Forum „Klimaänderungen und mögliche Folgen für die Sturmfluten“, 1994.
- SIEFERT, W.: Die Sturmflut von 1825 in der Elbe. Hmb. Küstenf., H. 5, 1969.

- SIEFERT, W.: Bemerkenswerte Veränderungen der Wasserstände in den deutschen Tideflüssen. Die Küste, H. 37, 1982.
- SIEFERT, W.: Wellenwirkung als Bestimmungsgröße für Bemessung. Hafenbautechn. Ges.: Hochwasserschutz für Häfen – Neue Bemessungsansätze. Hamburg 1996.
- SIEFERT, W. u. CHRISTIANSEN, H.: Entwicklung und Stand der Sturmflutvorhersagen des Hamburger Sturmflutwarndienstes. Hamb. Küstenf., H. 42, 1983.
- SIEFERT, W. u. HAVNØ, K.: Sturmflutuntersuchungen für die Elbe mit den mathematisch-hydraulischen Modellen des Dänischen Hydraulischen Instituts. Hamb. Küstenf., H. 46, 1989.
- SIEFERT, W. u. LASSEN, H.: Gesamtdarstellung der Wasserstandsverhältnisse im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht nach neuen Pegelauswertungen. Die Küste, H. 42, 1985.
- STORCH, H. v.: Szenarien möglicher künftiger Klimaänderungen. Baubeh. Hmb., Wiss. Forum „Klimaänderungen und mögliche Folgen für die Sturmfluten“, 1994.
- STROM- UND HAFENBAU, REF. HYDROL. UNTERELBE: Sturmfluten von 1901 bis 1984 vor der südl. Nordseeküste und in Hamburg. Hamb. Küstenf., H. 44, 1985.
- THEUNERT, F. u. ZIELKE, W.: Bericht über das Forschungsvorhaben Tidedynamik in Ästuarien und ihre Veränderung durch bauliche Maßnahmen. Inst. für Strömungsmechanik, Hannover, 1983.