



## **Hochwasserschutz in Hamburg**

### Coastal Protection in Hamburg

Gabriele Gönnert & Jürgen Triebner

Department of Port and River Engineering Hamburg, Germany

#### **Abstract**

Coastal protection is based on three columns such as storm surge protection facilities, catastrophe control and storm surge research.

The storm surge protection facilities are comprised by control and erection of public and private coastal protection constructions as well as storm surge protection devices of the Harbor City of Hamburg and property protection of objects in front of the dike line.

The catastrophe control contains storm surge alert, resistance and defense of coastal protection facilities as well as probable evacuation of people.

Storm surge research includes the control of tidal protection facilities by means of continuous examination of gauges which themselves are based on analyses and evaluation of the development of storm surge and climate warming, as well as on their influence on storm surge and on the general means sea level development.

The parameterised wind surge curves of the storm tide development will present and control any deviance from the 100 years old recorded storm surge developments and their 260 storm tides

#### **1 Einleitung: Struktur des Hochwasserschutzes in Hamburg**

1962 wurde Hamburg von einer sehr schweren Sturmflut heimgesucht. Deichbrüche und Überflutungen führten zu verheerenden Folgen mit Toten und erheblichen Sachschäden. Doch nicht die Höhe war der Ausschlag für diese schweren Folgen. Die lange Sturmflutpause in den 40iger und fünfziger Jahren führte zu einer gewissen Nachlässigkeit im Denken der Menschen. Doch diese schwere Sturmflut sollte nicht die letzte sehr schwere gewesen sein. Bereits 1976 folgte eine weitere, bislang schwerste Sturmflut.

Sturmflutforschung und die Anpassung des Sturmflutschutzes an die Sturmflutentwicklung ist seitdem ein besonderes Anliegen der hamburgischen Politik. So wurden nach 1962 in Hamburg neue leistungsfähige Deiche und Hochwasserschutzwände gebaut und auf die Hauptdeichlinie auf heute 100 km verkürzt. Nach 1976 wurde der öffentliche Hochwasserschutz ergänzt durch einen privaten Hochwasserschutz, der zu 75% staatlich gefördert wird.

Der Sturmflutschutz in Hamburg basiert im Prinzip auf drei Säulen:

1. **Hochwasserschutzanlagen:**

Sie umfassen die baulichen Anlagen des öffentlichen und des privaten Hochwasserschutzes sowie die Anlagen des Flutschutzes der Hafencity und Gebäude mit Objektschutz, die vor der Deichlinie liegen.

2. **Katastrophenschutz:**

Er umfasst die Sturmflutwarnung und alle für den Katastrophenfall vorbeugenden und durchzuführenden Maßnahmen einschließlich Durchführung von Abwehrmaßnahmen und Verteidigung der Hochwasserschutzanlagen.

### 3. Sturmflutforschung:

Sie umfasst die Kontrolle der Hochwasserschutzanlagen durch kontinuierliche Überprüfung der Bemessungswasserstände mithilfe:

- Analyse und Bewertung der Sturmfluten in ihrem Verlauf
- Analyse der Klimaentwicklungen und ihre Auswirkungen auf Sturmfluten
- Meeresspiegelentwicklung
- Wellenauflauf und -überlauf und des
- Küstenzonenmanagement.

## 2 Hochwasserschutzanlagen

### 2.1 Der öffentliche Hochwasserschutz

Der öffentliche Hochwasserschutz umfasst die Hauptdeichlinie in Hamburg. Sie schützt in erster Linie die Bevölkerung. Der Bau, die Instandhaltung und die Verteidigung des öffentlichen Hochwasserschutzes ist Aufgabe der öffentlichen Verwaltung.

Der öffentliche Hochwasserschutz besteht aus 77,5 km Deiche und 22,5 km Hochwasserschutzwände. Zusammen mit 6 Sperrwerken, 6 Schleusen, 27 Schöpfwerken und Deichsielen sowie 30 Toren (Gatts) schützen sie die Stadt und schotten die Nebenarme der Elbe ab.

Die momentane Schutzhöhe liegt bei NN+7,20 bis 9,25 m (Abb.1). Die Höhendifferenzen sind mit dem Konzept des Sturmflutschutzes zu erklären, dass von gleicher Sicherheit aber nicht von gleicher Höhe ausgeht. Infolgedessen wird die Höhe der Deichkrone nach den örtlichen Gegebenheiten und Erfordernissen schwanken, was insbesondere im Zusammenhang mit der Wellenauflaufhöhe zu sehen ist.

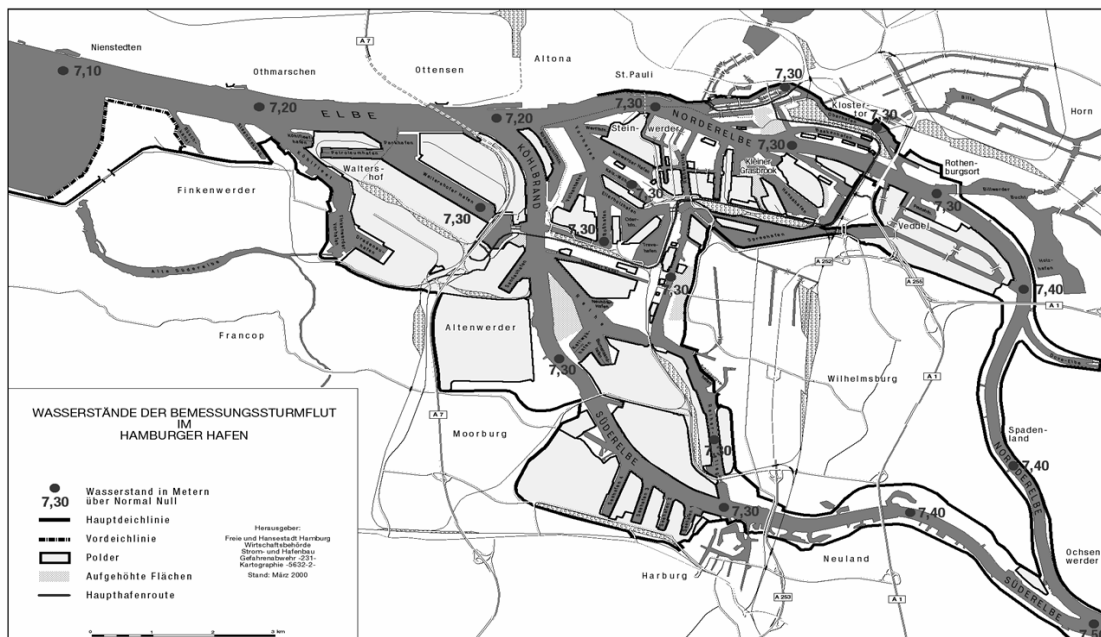


Abb. 1: Wasserstände der Bemessungsturmflut im Hamburger Hafen (Behörde für Wirtschaft und Arbeit, Strom- und Hafenausbau)

Der Hochwasserschutz in einem dicht besiedelten, urbanen Umfeld gestaltet sich zum Teil schwierig. In vielen Bereichen muss aufgrund der beengten Platzverhältnisse oder besonderen Nutzung angepasste technische Lösungen gefunden werden. Im Innenstadtbereich und in Finkenwerder sind Uferkonstruktionen gleichzeitig teilweise Hochwasserschutzanlage und Promenade. Gatts ermöglichen hier den Zugang zu den Landeanlagen und Hafenfähren. Eine Besonderheit ist das Gatt bei Airbus Deutschland. Hier queren Flugzeuge den Deich und eine Straße. Dafür wurde 1997 ein 85 m breites

Hubtor gebaut, das im abgesenkten Zustand von den Flugzeugen überfahren werden kann. Die Baukosten betragen rd. 6 Mio. Euro.

## 2.2 Der private Hochwasserschutz

Der private Hochwasserschutz dient dem Schutz von in der Regel privaten Industrie- bzw. Hafenanlagen, in Ausnahmefällen auch eingepolderte Wohnanlagen (wie z.B. Neumühlen). Die privaten Anlagen werden von ihren Eigentümern Instand gehalten und verteidigt

Der private Hochwasserschutz besteht im Hafen aus 48 Einzel- und Gemeinschaftspoldern sowie drei Sperrwerken, die mit insgesamt 109 km Länge und rd. 2.300 ha Fläche etwa 70% des Hafengebietes vor Sturmfluten schützen. Die privaten Anlagen bestehen aufgrund des geringeren Flächenbedarfes überwiegend aus Spundwand- bzw. Stahlbetonkonstruktionen, die die Umschlags- und Lagereinrichtungen mit einer einheitlichen Höhe von NN+7,50 m schützen. Eingeschlossen sind viele infrastrukturelle Bereiche wie Straßen und Hafenbahnanlagen.

## 3 Der Katastrophenschutz

Der Katastrophenschutz setzt sich aus verschiedenen Bestandteilen zusammen:

1. Der „Zentrale Katastrophendienststab“ ZKD der Behörde für Inneres lenkt die regional zuständigen Katastrophendienststäbe in den Bezirken und im Hafen. Sie werden unterstützt durch private Hilfsorganisationen, das technische Hilfswerk (THW) und die Bundeswehr. Einsatzschwelle ist ein erwarteter Wasserstand von NN + 4,50 m.
2. Der Hamburger Sturmflutwarndienst (WADI) der Behörde für Wirtschaft und Arbeit, Strom- und Hafenbau wurde nach der Sturmflut 1976 im gleichen Jahr eingerichtet, der die Vorhersagen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie präzisieren soll. Seine Aufgaben umfassen die Berechnung der Sturmflutvorhersagen für Hamburg nach Höhe und Eintrittszeit und die Warnung der Bevölkerung über die Behörde für Inneres sowie der Betriebe im Hafen, der Behörden, Betroffenen und der Organisationen im Katastrophenschutz über einen eigenen Funkkreis und Telefonansagen. Die Warnungen werden halbstündlich wiederholt. Die Einsätze erfolgen, wenn ein Wasserstand in Hamburg St. Pauli von NN+4,50 m und höher zu erwarten ist.

Im Sturmflutfall gibt es ein sehr differenziertes Einsatzsystem, das an Wasserstandsstufen gekoppelt ist. Es beginnt mit der Flutwarnung und geht für den absoluten Ausnahme- und Notfall bis hin zu detaillierten Evakuierungsplänen des natürlichen Überflutungsbereiches der Elbe ohne Deichschutz. Bestandteil sind auch die vorbeugenden Informationen und die Sturmflutübungen.

## 4 Die Sturmflutforschung

Die eigene Sturmflutforschung impliziert vier große Themenblöcke

1. die Kontrolle der Hochwasserschutzanlagen durch kontinuierliche Überprüfung der Bemessungswasserstände.
2. Beobachtung von Sturmflutentwicklung aufgrund von anthropogenen, natürlichen oder klimatologischen Veränderungen.
3. Überprüfung des Sturmflutvorhersageverfahrens.
4. Analyse, wie muss langfristig reagiert werden bezogen auf das Küstenzonenmanagement, um die Sicherheit der Bevölkerung zu gewährleisten.

Zur Darlegung der Kontrolle der Hochwasserschutzanlagen in ihrer Höhe wird zunächst die Berechnung des sogenannten Bemessungswasserstandes vorgestellt (Punkt 1). Im Weiteren wird dann die Sturmflutentwicklung mithilfe der Analyse des Sturmflutverlaufes dargelegt (Punkt 2), während 3 und 4 den Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung überschreiten würde.

#### 4.1 Der Bemessungswasserstand

Die Deichhöhe wird ermittelt über einen sogenannten Bemessungswasserstand. Nach dem Ausschuss für Küstenschutzwerke (1993:19) ist der Bemessungswasserstand „der für einen vorgegeben Zeitraum zu erwartende höchste Wasserstand, auf den eine Hochwasserschutzanlage unter Berücksichtigung des säkularen Meeresspiegelanstiegs [...] und des Oberwasserzuflusses zu bemessen ist.“ Neben dem Wasserstand ist der durch örtlichen Seegang hervorgerufene Wellenauflauf ein weiterer wichtiger Parameter.

Das Verfahren zur Berechnung des Bemessungswasserstandes wurde von einer Arbeitsgruppe der drei Elbanrainer Hamburg, Schleswig-Holstein und Niedersachsen entwickelt und gilt für die Elbe von Cuxhaven bis Geesthacht (Abb. 2). Die Stadt, die den Eintritt der Elbe in den Ästuartrichter markiert, ist Cuxhaven. Hamburg liegt rund 120 km flussaufwärts.

Das Verfahren basiert auf der Bestimmung einer sogenannten maßgeblichen Sturmidekurve für die Elbmündung (Pegel Cuxhaven), deren Höchstwert den Bemessungswasserstand darstellt (Sieffert 1998). Diese Kurve bildet die Grundlage für die Modelluntersuchung, die für jeden Ort an der Elbe einen Bemessungswert berechnet. Hierdurch ist es möglich die ungünstigsten Wechselwirkung zwischen Tide und Windstau auf dem Weg von Cuxhaven bis Hamburg zu erfassen und zusätzliche Aussagen über Verweildauer hoher Zwischenstände und den zeitlichen Ablauf der Sturmflut zu bestimmen (Sieffert 1998).

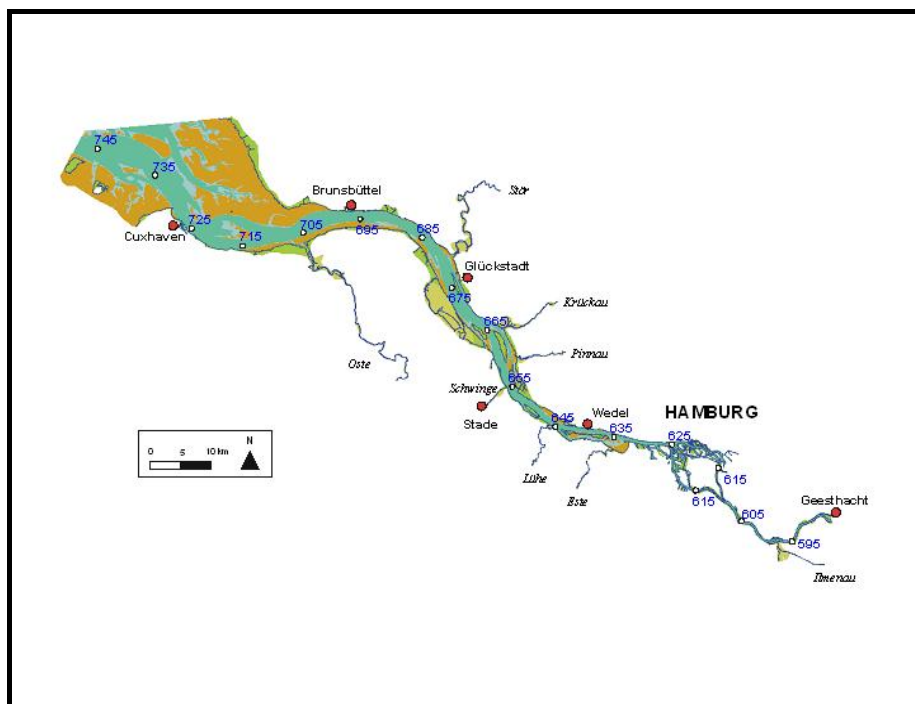


Abb. 2: Die Elbe von Cuxhaven bis Gesthacht. (Behörde für Wirtschaft und Arbeit, Strom- und Hafenbau)

Die maßgebliche Sturmidekurve (Abb. 3) setzt sich zusammen aus

- den aktuellen Tideverhältnissen (beschrieben durch die mittlere Tidekurve),
- den Säkularveränderungen gekennzeichnet im Meeresspiegelanstieg
- den meteorologischen Einflüsse (im wesentlichen der Windstau),
- den Einflüssen der Schwingungen in der Nordsee, in erster Linie den Fernwellen,
- ergänzt durch zusätzliche astronomische Einflüsse.

Die letzten drei Punkte werden in der Windstaukurve zusammengefasst, die rund 90% ihrer Beträge aus dem Windeinfluss besteht. Die restlichen 10% bilden die ergänzenden astronomischen Einflüsse (vor allem Spring- und Nipptide) und die Schwingungen der Nordsee. Der Einfluss der Astronomie entsteht durch Berechnung des Windstaus über die mittlere Tidekurve. Diese wird hier gewählt, da sie laut Sieffert (1998) das aktuelle Tidegeschehen am besten repräsentiert. Die mittlere Tidekurve wird gebildet aus dem 10 jährigen Mittel.

Zur Bestimmung der extremen Windstaukurve werden die Sturmflutverläufe in Cuxhaven seit 1900 ausgewertet und die Windstaukurven aller hohen Sturmfluten des 19. Jahrhunderts. Der entscheidende Parameter ist das Windstaumaximum, das bei Thw bislang 375 cm am 16./17.2.1962 erreichte und 430 cm bei Tnw am 23.12.1894. Die Wechselwirkung zwischen Tide und Windstauentwicklung bewirkt, dass der Windstau bei Thw rund 90% der Höhe des Wertes bei Tnw erreicht. Für die maßgebliche Windstaukurve wird deshalb der bisher höchste Windstau erfasst und übertragen auf die Bedingungen bei THw. Wird der Stauwert von 430 cm bei Tnw auf die Situation bei Thw übertragen, ergibt sich eine Höhe von 385 cm. Der weitere Verlauf der Windstaukurve wird rekonstruiert aus einem sehr schweren Sturmflutverlauf in Annäherung an die Sturmflut vom 3.1.1976, deren Verlauf erhöht und verlängert wurde.

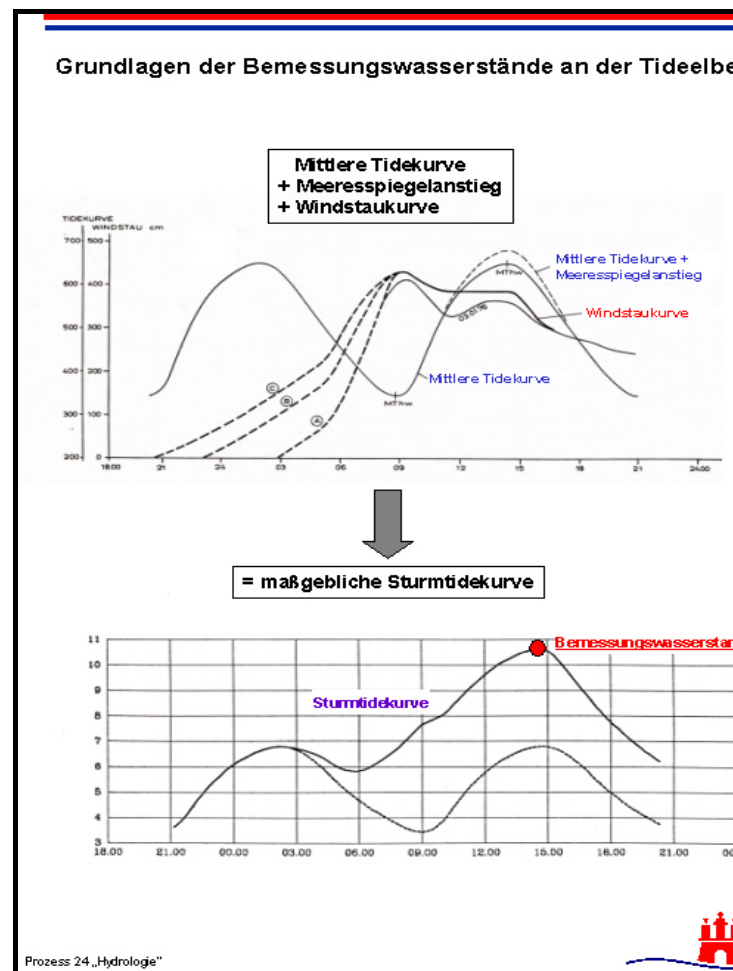


Abb. 3: Die Maßgebliche Sturmidekurve für Cuxhaven (Behörde für Wirtschaft und Arbeit, Storm- und Hafenbau, Hydrologie)

Die Säkulentwicklung wird anhand der Trendentwicklung in Cuxhaven festgelegt. In Cuxhaven liegt ein Trend von

1850 bis 1996: 22 cm/Jh im MThw  
 12 cm/Jh im Mtnw  
 10 cm/Jh im MThw vor,  
 1900 bis 2003: 23 cm/Jh im MThw  
 6 cm/Jh im MTnw  
 17 cm/Jh im Mthb vor.

Es wird deshalb ein Säkulartrend von 30 cm/Jh. im Hochwasser und 0 cm/Jh. im Niedrigwasser berücksichtigt.

Neben den genannten Faktoren ist der Oberwasserzufluss eine wichtige Einflussgröße. Er spielt vor allem im Bereich der schmalen Elbrinne oberhalb des Hamburger Stromspaltungsgebietes eine wichtige Rolle. So führt eine Erhöhung des Oberwasserzuflusses (gemessen am Pegel Neu Darchau) um  $1000\text{m}^3/\text{s}$  zu einer Erhöhung des Sturmflutscheitels um 25 cm. Es wurde deshalb ein sehr hoher Oberwasserabfluss von  $2200\text{m}^3/\text{s}$  festgelegt. Stromab von Hamburg spielt der Oberwassereinfluss nur noch eine geringe Rolle (Gönnert & Ferck 2000).

Die so ermittelten Werte, werden einem numerischen Modell als Eingangsgröße vorgegeben. Das numerische Modell kann anhand der neuesten Topographie, die bereits die anthropogenen und die natürlichen Veränderungen erfasst, für jeden Ort entlang der Elbe einen eigenen Bemessungswert ermitteln. Sie steigen von Cuxhaven mit 6,65 m NN bis Hamburg auf eine Bandbreite von 7,20 m NN bis 9,25 m NN an. Diese Werte sind jedoch noch nicht die endgültigen Höhen der Hochwasserschutzanlagen. Zusätzlich wird für jeden Ort die Wirkung des Seegangs (Auflauf/Reflexion etc.) berücksichtigt. Erst beide Werte zusammen bilden dann die Höhe der Hochwasserschutzanlagen.

#### **4.2 Überprüfung der Sturmfluten in Hinblick auf natürliche, anthropogene und Klimaveränderungen**

Die Überprüfung der Sturmfluten in Hinblick auf Klimaänderungen erfolgt nach dem Verfahren von Gönnert 2003). Um das Sturmflutklima umfassend zu analysieren, ist es notwendig, nicht nur die Entwicklung von Scheitelhöhen, Frequenz und Dauer zu betrachten, sondern Sturmfluten in ihrem gesamten Verlauf zu erfassen. Zentrale Bedeutung kommt daher der Windstaukurve als Differenzkurve zwischen gelaufener Sturmflut und mittlerer bzw. astronomischer Tide zu. Sie bildet den Einfluss des sturmflutverursachenden Faktors - des Windes - und dessen Änderungen direkt ab. Mögliche Änderungen der Windverhältnisse verändern somit den Verlauf - und damit den Charakter - einer Sturmflut. Veränderungen im Sturmflutklima sind auf diese Weise gut zu erfassen.

Hierfür wird die Windstaukurve in "Anstieg", "Scheitel" und "Abfall" parametrisiert (Abb. 4). Über Korrelation der einzelnen Parameter lässt sich erarbeiten, welche Wirkung ein spezifischer Windverlauf auf die Windstauhöhe hat (Abb. 5).

Es zeigt sich z.B. für die Korrelation Windstauanstieg zu Windstaumaximum, dass es für Cuxhaven gilt, dass bei großen sehr schnellen Anstiegen der Windgeschwindigkeit sehr hohe Windstau maxima gebildet werden. Die dargestellten Sturmfluten entstammen aus einem Kollektiv seit 1900. In dieser Zeit lag eine Erhöhung der globalen Mitteltemperatur von  $0,6^\circ\text{C}$  vor. Die gebildete Einhüllende stellt den Bereich dar, indem sich Sturmfluten unter momentanen Klimabedingungen entwickeln können. Jede neue Sturmflut wird unter diesem Gesichtspunkt analysiert. Es wird davon ausgegangen, dass Sturmfluten, die unterhalb der dargestellten Einhüllenden in einem physikalisch sinnvollen Ablauf stattgefunden haben, im Rahmen der bisherigen Klimaänderungen liegen und keine Abweichungen zeigen. So war zwar die Sturmflut vom 3.12.1999 ein Extremereignis, dennoch fällt sie mit ihrem Verlauf in den Bereich einer normalen sehr schweren Sturmflut. Auf diese Weise glückt die Bewertung von mehr als 200 Sturmfluten unterschiedlichster, individueller Abläufe in ein System zu bringen.

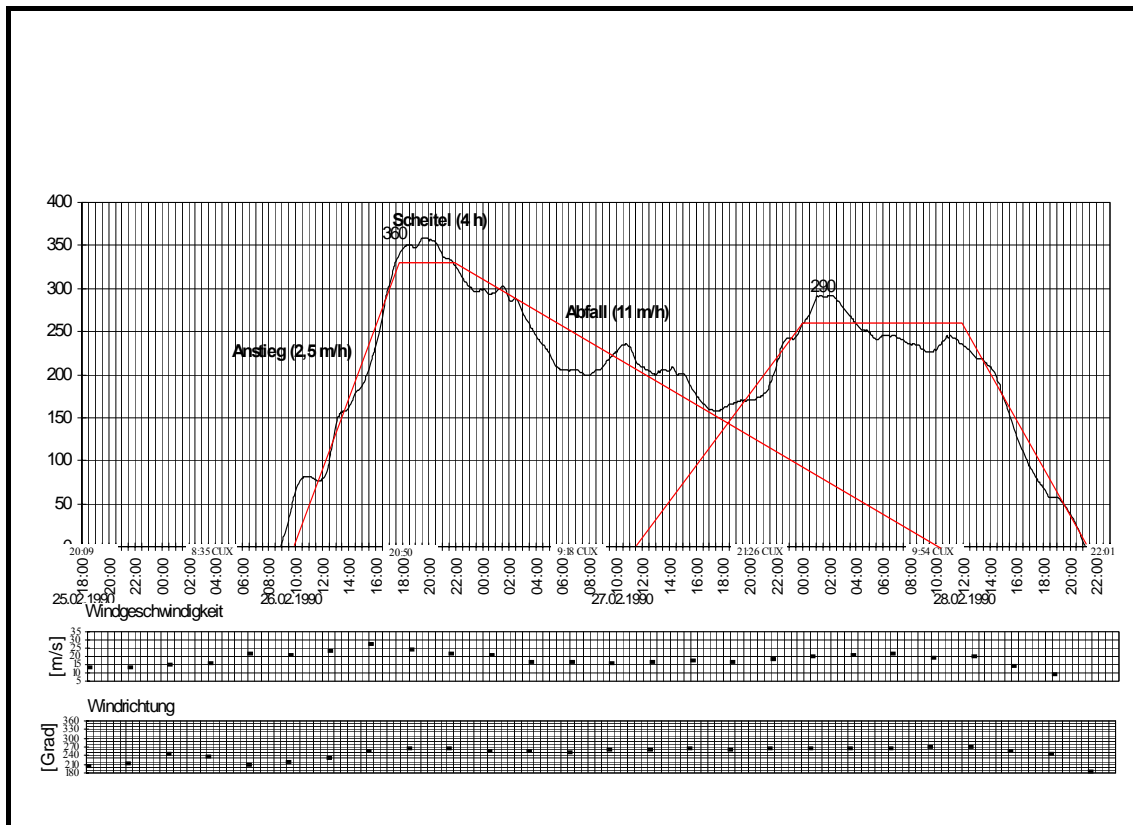


Abb. 4: Parametrisierung der Windstaukurve in Anstieg, Scheitel und Dauer (Gönnert 2003)

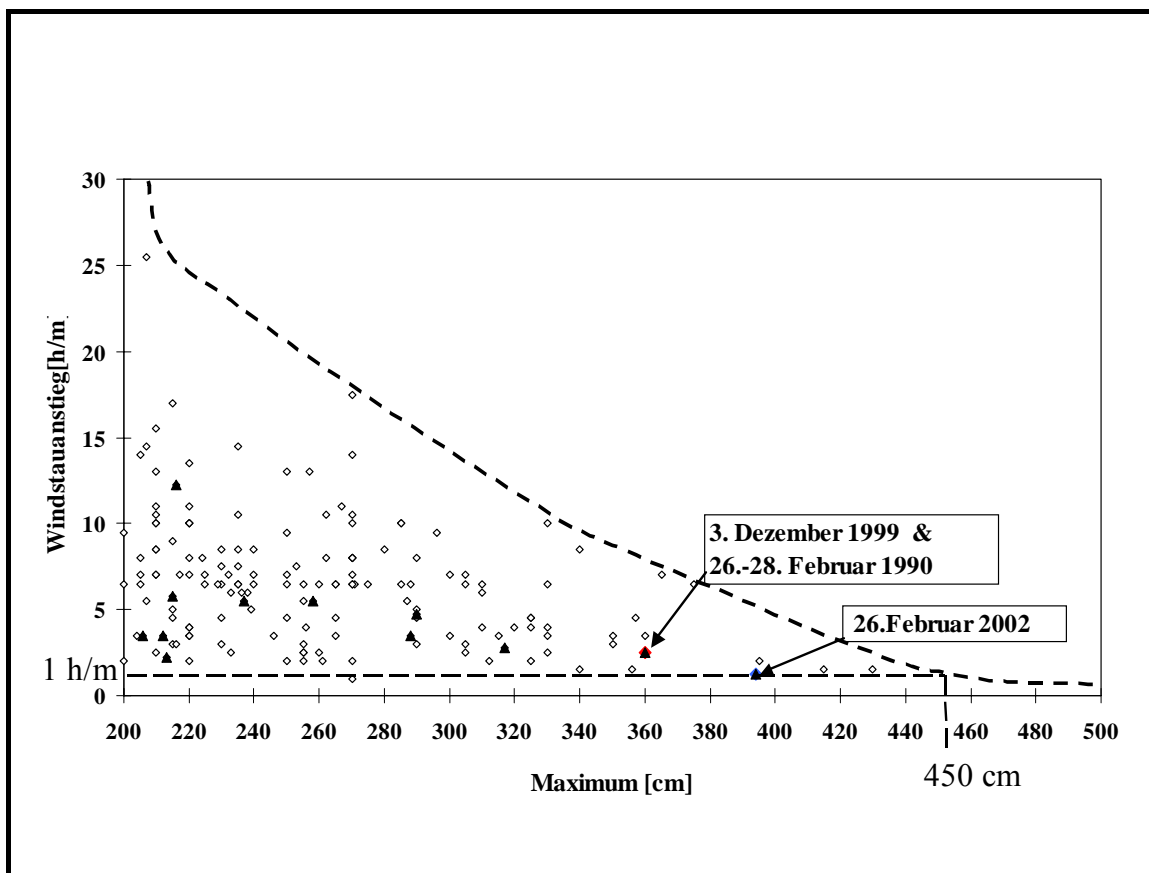


Abb. 5: Korrelation der Windstauparameter Windstauanstieg mit dem Windstaumaximum aller Sturmfluten in Cuxhaven seit 1900 (Gönnert 2003)

## 5 Literatur

- Ausschuß der „Küstenschutzwerke“ der deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. sowie der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V. (1981): Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken - EAK 1981. In: Die Küste, 36: 1-320.
- Gönnert, G., Dube, S.K., Murty, T.S. & W. Siefert: Global Storm Surges: Theory, Observations and Applications. (Die Küste, 63).
- Gönnert, G. (2003): Sturmfluten und Windstau in der Deutschen Bucht. Charakter, Veränderungen und Maximalwerte im 20. Jahrhundert. In: Die Küste, Heft 65.
- Gönnert, G. & U. Ferk (2000): Sturmflutschutz angesichts von globalem Klimawandel und anthropogenen Einflüssen dargestellt am Beispiel von Deutscher Bucht und Elbe. In: Blotenvorge, H., Ossenbrügge J. & G. Wood: Lokal verankert – weltweit vernetzt, Stuttgart, 2000, S. 163-170.
- Länder-Arbeitsgruppe (1988): Bemessungswasserstände entlang der Elbe. In: Die Küste, 47: 31-50.
- Siefert, G. (1998): Bemessungswasserstände 2085A entlang der Elbe. Ergebnisse einer Überprüfung durch die Länderarbeitsgruppe nach 10 Jahren. In: Die Küste, Heft 60, 1998, S: 228-255.

## Adresse

Priv.-Doz. Dr. habil. G. Gönnert  
Department of Port and River Engineering  
Dalmannstr. 4  
20457 Hamburg

E-mail: [Gabriele.goennert@ht.hamburg.de](mailto:Gabriele.goennert@ht.hamburg.de)