



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

Sturmflutvorhersage für Hamburg 1962 und heute



© Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Hamburg und Rostock 2012
www.bsh.de

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des BSH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.



Sturmflutvorhersage für Hamburg 1962 und heute

Sylvin H. Müller-Navarra, Wolfgang Seifert,
Hans-Andreas Lehmann, Sven Maudrich

Geleitwort der Präsidentin des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)

Seit fast 90 Jahren gibt es für Hamburg und die deutsche Nordseeküste öffentliche Sturmflutwarnungen. Zunächst kamen sie von der Deutschen Seewarte, ab 1945 vom Deutschen Hydrographischen Institut (DHI) und heute – seit 1990 – von deren Nachfolgeorganisation – dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH).

Sturmfluten sind durch Sturmweatherlagen verstärkte Fluten und damit von Wind und Gezeiten geprägt. Zuverlässige frühzeitige Sturmflutwarnungen werden daher in enger Kooperation zwischen dem Seewetteramt des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und dem BSH entwickelt. Worauf diese Zusammenarbeit basiert, wie sie funktioniert und wie heute Sturmfluten vorhergesagt werden, wird in dieser Broschüre dargestellt. Sie soll Anleitungen geben, die Informationen und Vorhersagen noch besser zu verstehen und einzuordnen, und so weiter mithelfen, damit sich eine Katastrophe wie 1962 in der Nacht vom 16. auf den 17. Februar nie mehr wiederholt.

Damals waren die Vorhersagemethoden auf meteorologischer und ozeanographischer Seite ausschließlich auf Beobachtungen gestützt. Die handelnden Wissenschaftler bauten auf ihr Wissen und ihre Erfahrung und stützten sich auf empirisch-statistische Berechnungsmethoden. Dazu gehörte auch die laufende 3-stündliche Auswertung von Pegeldata der englischen Ostküste, denn das Phänomen „Fernwelle“ war damals bereits bekannt.

Am 16. Februar 1962 ab ca. 20:00 Uhr zeigten diese Pegeldata und die Sturmvorhersagen des Seewetteramtes, dass Hamburg eine seit mehr als einhundert Jahren nicht da gewesene sehr schwe-

re Sturmflut drohte. Trotz der damals noch großen Unsicherheiten wurde daher die mittags vom DHI veröffentlichte Warnung vor einer schweren Sturmflut abends zu einer sehr schweren Sturmflut heraufgestuft. Diese Warnung hat den Einsatzkräften der Stadt in dieser Nacht geholfen, lebensrettende Maßnahmen zu ergreifen. Trotzdem waren letztlich durch das Brechen der Deiche an vielen Stellen und das dadurch bedingte Überfluten großer Teile der Stadt mehr als 300 Sturmflutopfer zu beklagen.

Seit dieser Zeit haben sich die Vorhersagemethoden erheblich weiterentwickelt. Neben den nach wie vor wichtigen Beobachtungs- und Pegeldata können wir heute computergestützte Vorhersage- und Warnverfahren einsetzen. Die Sturmflutkatastrophe von 1962 wird auch heute noch – 50 Jahre später – als Prüfstein für die Qualität der modernen Methoden benutzt. Und es zeigt sich: Heute ist es möglich, diese Art Naturkatastrophe deutlich früher und genauer vorherzusagen. Aber wir wissen auch, dass jede schwere Sturmflut anders abläuft, und dass es nach wie vor sehr genau auf die Kenntnis über den zeitlichen Ablauf der Sturmentwicklung und die Gezeitenphase ankommt. Und so ist es wichtig, dass trotz guter numerischer Vorhersagemodelle der Mensch im Spiel bleibt, die Modell-ergebnisse fachkompetent bewertet und so „das letzte Wort hat“.

Der Sturmflutwarndienst des BSH ist bei Sturmflutlagen rund um die Uhr besetzt und die Kolleginnen und Kollegen dort stehen als Ansprechpartner zur Verfügung.

Ihnen und allen, die sich im Dienst der Sicherheit engagieren, gebührt ein herzlicher Dank.



Monika Breuch-Moritz

Monika Breuch-Moritz

Präsidentin und Professorin
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Geleitwort des Präsidenten des Deutschen Wetterdienstes

Orkane sind meteorologische Ereignisse mit extremen Energieumsätzen in der Atmosphäre und damit schwersten Wettererscheinungen. Der Orkan Vincinette, dessen Windfeld in der Nacht zum 17. Februar 1962 die deutsche Nordseeküste und vor allem die Elbmündung bis Hamburg erfasste, war ein meteorologisches Ereignis mit katastrophalen Folgen, für das bis dahin vor Ort jeder Vergleich fehlte. Die zweitägige Dauer des schweren Nordweststurms über der gesamten Nordsee und die stürmische Vorwitterung über mehrere Tage waren die Auslöser der katastrophalen Folgen.

Die Vorhersage solcher Orkane war 1962 eine sehr schwierige wissenschaftliche und auch aufwändige „handwerkliche“ Arbeit, denn es gab keine zur Vorhersage solcher Stürme geeigneten Computermodelle, mit denen die Meteorologen hätten arbeiten können. Die Experten des Deutschen Wetterdienstes waren damals weitgehend auf Wetterbeobachtungen auf dem Atlantik und im Vorfeld des Orkans angewiesen und nutzten graphische Verfahren zur Bestimmung des künftigen Luftdruckfeldes. Sturm- und Orkanwarnungen wurden an Hand langjähriger Erfahrungswerte, zum Beispiel der kurzfristigen Veränderung des Luftdrucks bei Annäherung von Sturm- oder Orkantiefs, herausgegeben. Daher war es eine große Leistung meiner damaligen Kollegen, dass bereits zehn bis zwölf Stunden vor dem Ereignis vom Seewetteramt des Deutschen Wetterdienstes vor Orkan für die Nordseegebiete und schwerem Sturm für das küstennahe Binnenland gewarnt wurde.

Heute können solche Orkanlagen mit numerischen Simulationen im Großrechner meist einige Tage vorher relativ gut erfasst werden. Dabei ist für die Vorhersage einer Sturmflut an der deutschen Nordseeküste eine besonders hohe Genauigkeit der Windvorhersage erforderlich.

Wettervorhersagen und Unwetterwarnungen sind insgesamt viel treffsicherer geworden und meist so früh verfügbar, dass Maßnahmen zur Schadensbegrenzung rechtzeitig umsetzbar sind.

Wir müssen uns aber immer klar machen: Trotz allem wissenschaftlichen Fortschritts werden wir solche katastrophalen Unwetter aus physikalischen Gründen nie zu 100 Prozent genau vorhersagen und schon gar nicht verhindern können. Es bleibt also auch künftig für uns eine Herausforderung, aus den Erfahrungen der Vergangenheit zu lernen und uns auf mögliche Gefahren durch extreme Wetterereignisse so gut wie möglich vorzubereiten. Die Beschäftigten des Deutschen Wetterdienstes leisten dazu rund um die Uhr einen wichtigen Beitrag.



Prof. Dr. Gerhard Adrian

Präsident des Deutschen Wetterdienstes

Geleitwort des Vorsitzenden der Geschäftsführung der Hamburg Port Authority (HPA)

Die Hamburg Port Authority (HPA) wurde durch die Zentralisierung der hafenbezogenen Zuständigkeiten und die Ausweitung selbständiger Entscheidungskompetenzen in der Rechtsform „Anstalt des öffentlichen Rechts“ zu einem marktfähigen Akteur bei voller Wahrung der städtischen Interessen und hoheitlichen Aufgaben.

Die HPA versteht sich als zentraler Ansprechpartner für alle Fragen der Infrastruktur, der Firmenstandorte und der kommerziellen Bedingungen im Hafen, und handelt im Interesse der Stadt Hamburg als kompetenter Partner der Hafenvirtschaft.

Die HPA nimmt – mit dem Hamburger Sturmflutwarndienst (WADI), dem Hafenstab (HASTA) und den Einsatzstäben – auch wichtige Aufgaben der Gefahrenabwehr wahr; darüber hinaus stellt sie Deichverteidigungskräfte.

Diese dem Katastrophenschutz dienenden Einrichtungen können nur mit gut ausgebildeten Mannschaften funktionieren. Dazu gehört die Bereitschaft aller Beteiligten, sich neben der beruflichen Anbindung darüber hinaus zu engagieren.

Hamburg hat sich aufgrund seiner geographischen Lage am Tidestrom Elbe seit jeher der Gefährdung durch Sturmfluten stellen müssen. Welche Ausmaße diese Gefährdung annehmen kann, zeigten leidvoll die Sturmfluten von 1962 und 1976. Zu dieser Bedrohung durch Sturmfluten sind in den letzten Jahren weitere Szenarien hinzugekommen, auf die sich der HASTA im Katastrophenfall einzustellen hat; dazu gehören beispielsweise die sicherheitspolitischen Aspekte, Auswirkungen des Klimawandels, Pandemien, Ausfall von technischen Infrastrukturen oder Bedrohung durch technische Infrastrukturen.

An die Sturmflutvorhersagen für den Hamburger Hafen, mit seinem komplexen Geflecht aus verschiedenen Arealen, werden besondere Anforderungen gestellt. Daher verbreitet der WADI Sturmflutvorhersagen, wenn Wasserstände über NN +4,50 m erwartet werden und berechnet die genaue Eintrittszeit des Sturmflutscheitels; diese Angaben sind für die Abwehrmaßnahmen in den verschiedenen Arealen des Hafens notwendig. Im Einsatz aktualisiert der WADI seine Vorhersagen halbstündlich; die Vorhersagen werden über ein spezielles Funknetz im Hafen gesendet.

Im Rahmen der Zuständigkeiten der HPA sind unter Einbringen unserer Kompetenzen die im Hafen lebende und arbeitende Bevölkerung und die ansässigen Betriebe zu warnen, zu schützen und gegebenenfalls zu unterstützen. Dafür gilt es, auf einen funktionierenden Katastrophenschutz zurückgreifen zu können – sei es beim WADI oder HASTA, auf dem Deich oder bei der Lenkung der operativen Kräfte.



Jens Meier

Vorsitzender der Geschäftsführung
der Hamburg Port Authority

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Sturmfluten in der Deutschen Bucht und in Hamburg	7
3	Gefährdungspotenzial	10
4	Gezeiten	12
5	Meteorologische Aspekte der Orkanentwicklung und ihrer Vorhersagbarkeit	14
5.1	Die Voraussetzungen und die Ausgangslage im Februar 1962 . . .	14
5.2	Die Orkanentwicklung vom 14. bis zum 17. Februar 1962.	14
5.3	Die damaligen meteorologischen Vorhersageverfahren	17
5.4	Simulationen der Orkanwetterlage mit dem heutigen operationellen Modell des Deutschen Wetterdienstes.	18
6	Sturmflutvorhersage für die deutsche Küste und die Tideflüsse . .	20
7	Sturmflutvorhersage für Hamburg	24
8	Heutige Abläufe der Warnverfahren	26
8.1	Wetter-, Sturm- und Orkanwarnungen des Deutschen Wetterdienstes.	26
8.2	Sturmflutwarnungen für Hamburg	27
8.2.1	Sturmflutwarnungen des BSH	28
8.2.2	Einsatz des WADI	29
9	Anhang	31

1 Einleitung

Die einführenden Geleitworte machen deutlich, dass nur gemeinsame Anstrengungen des Bundes und der Freien und Hansestadt Hamburg gute Sturmflutvorhersagen, Warnungen und Schutzmaßnahmen für diese Hafenstadt ermöglichen. Große Areale liegen auf Sturmflutniveau oder darunter, und so müssen bei jeder Sturmflut ausgeklügelte Maßnahmen ergriffen werden, um Menschen und Sachwerte zu schützen.

Alle Sturmfluten, besonders die schweren, verlaufen unterschiedlich. Einfache Muster gibt es für diese dynamisch komplizierten Vorgänge nicht. Seit 1962 sind erfolgreiche Anstrengungen unternommen worden, die Sturmflutvorhersagen und -warnungen für Hamburg zu verbessern. Diese zu beschreiben ist Aufgabe der vorliegenden Broschüre.

Wie und wo Sturmfluten entstehen, und wie oft mit solchen Ereignissen zu rechnen ist, wird in Kapitel 2 beschrieben. Nach einer Schilderung des Gefährdungspotenzials im Hamburger Hafen und in den angrenzenden Gebieten (Kap. 3) wird in den Kapiteln 4–6 gezeigt, wie Vorhersagen von Sturmfluten berechnet werden und worin die wissenschaftliche Herausforderung liegt. Kapitel 7 behandelt, in welchem Verhältnis die Vorhersagen zu den besonderen Herausforderungen der Hafenmetropole Hamburg stehen. Im abschließenden Kapitel 8 erfährt der Leser, wie Sturmflutwarnungen für die Öffentlichkeit generiert und wie diese Informationen den Betroffenen verfügbar gemacht werden.

Eine Broschüre dieser Art unter Beteiligung der drei Institutionen, die mit Sturm- und Sturmflutvorhersagen für Hamburg befasst sind, hat es bisher nicht gegeben. Der 50. Jahrestag der Hamburger Sturmflutkatastrophe in der Nacht zum 17. Februar 1962 ist Anlass genug, deren Einzelleistungen und die Zusammenarbeit im heutigen Katastrophenschutz näher zu beschreiben. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) und das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) betreiben mit der gesetzlichen Aufgabe der Wasserstandsvorhersagen einschließ-

lich Sturmflutvorhersagen für die deutschen Küsten einen aufwändigen Rund-um-die-Uhr-Service, der auch Hamburg einschließt. Bei schweren Sturmfluten, das sind solche, bei denen hauptsächlich durch meteorologische Einflüsse das mittlere Gezeitenhochwasser um 2,5 Meter und mehr überschritten wird, rechtfertigt die komplexe Gefährdungslage den Einsatz eines zusätzlichen Hamburger Sturmflutwarndienstes (WADI). BSH und WADI stimmen sich bei den Vorhersagen schwerer Sturmfluten ab und unterstützen mit ihren Warnungen auf vielfältigen Kommunikationswegen institutionelle und private Schutzmaßnahmen.

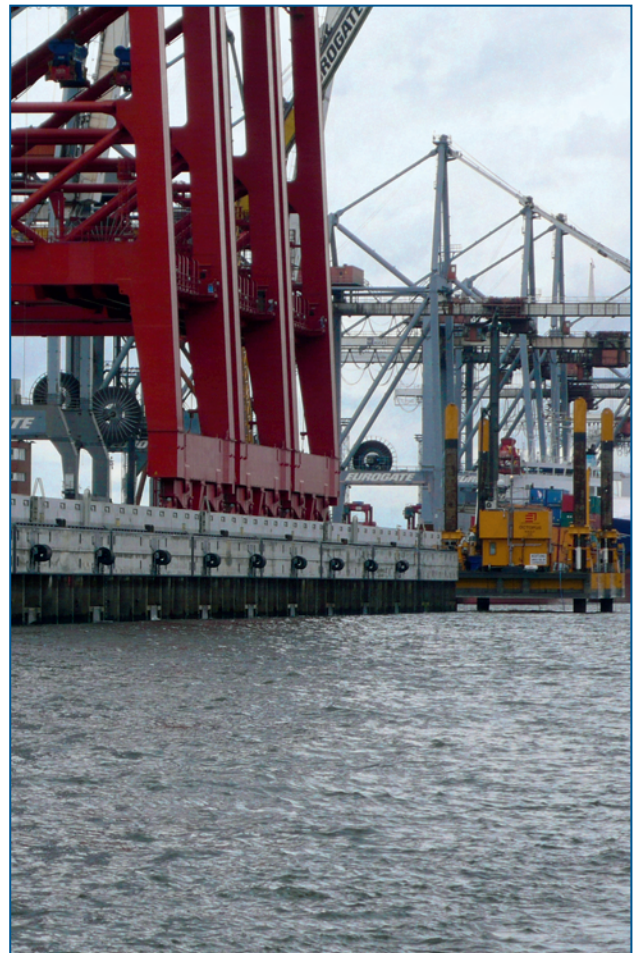


Abb. 1.1: Private Hochwasserschutzwand auf einer Kaianlage am Waltershofer Hafen

2 Sturmfluten in der Deutschen Bucht und in Hamburg

Müller-Navarra

Chroniken berichten von Sturmfluten, denen ganze Landstriche und viele Menschen zum Opfer fielen.^[1] Seit Beginn des 19. Jahrhunderts sind diese Naturkatastrophen in der Literatur gut belegt und auch Wasserstandsmarken und -aufzeichnungen gestatten einen Vergleich mit heutigen Verhältnissen (Abb. 2.1).

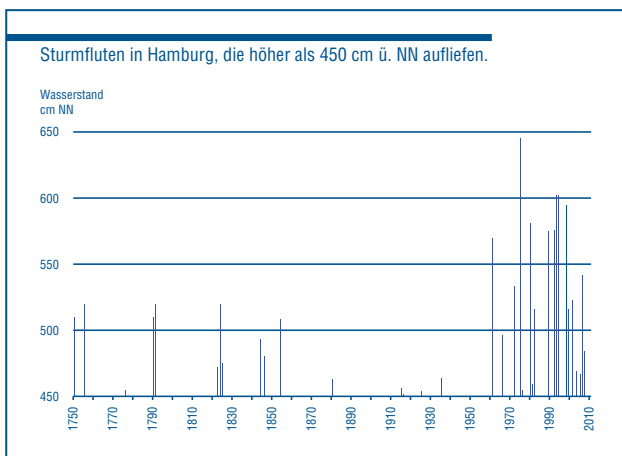


Abb. 2.1: Sturmfluten in Hamburg, die höher als 450 cm ü. NN aufliefen. Zu beachten ist die lange „ruhige“ Phase vor 1962. Die Häufung nach 1962 ist zu einem großen Teil auch dem heute erheblich besseren Sturmflutschutz mit verkürzter Deichlinie und Sperrwerken geschuldet.

Heute spricht man von Sturmfluten, wenn ein auf-landiger Sturm gleichzeitig mit dem astronomischen Flutstrom die Wassermassen an die Küste oder in die Flussmündungen schiebt und die Hochwasserhöhen weit über das alltägliche Maß erhöht. Als „alltäglich“ wird von den Küstenbewohnern ein mittleres Gezeitenhochwasser (MHW) empfunden, dessen Höhe bezogen auf Normal Null (NN) an der Küste von Ort zu Ort unterschiedlich ist, besonders entlang der Gezeitenflüsse (Abb. 2.2).

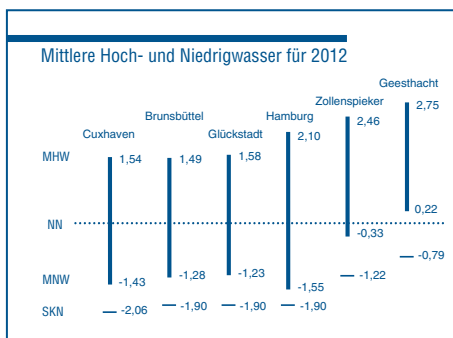


Abb. 2.2: Mittlere Hoch- und Niedrigwasser für 2012 an einigen Orten entlang der Elbe, sowie das amtlich festgelegte Seekarten-null (SKN)

NN ist das vertikale geodätische Datum der Deutschen Landesvermessung, dessen Ursprung ein über viele Jahre ermittelter mittlerer Meeresspiegel am Pegel Amsterdam ist.

Die Elbmündung ist durch Wattflächen und Prielsysteme gekennzeichnet (Abb. 2.3). Bei Sturmfluten sind große Flächen überflutet, die sich zu anderen Zeiten als Schlick-, Sandflächen oder Salzwiesen zeigen.

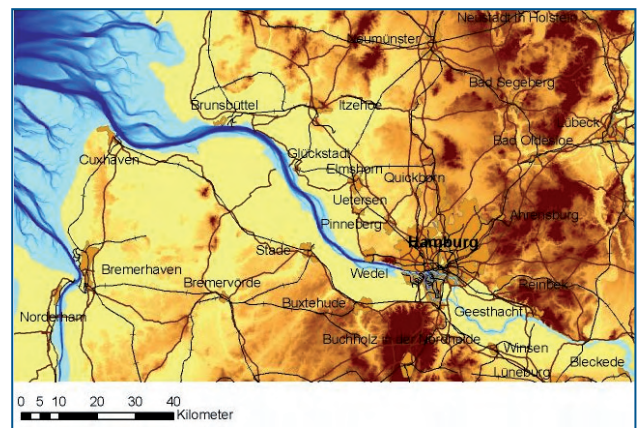


Abb. 2.3: Orographie des Elbestroms und des umgebenen Landes

Die aus den Nordseegezeiten durch Windwirkung entstandenen Sturmfluten dringen an die Seedeiche vor und weit in die Gezeitenflüsse hinein. Im Falle der gut ausgebauten Schifffahrtsstraßen Weser und Elbe erfahren sie bei ihrer Wanderung stromauf keine Abschwächung. Der höchste Wasserstand während einer Sturmflut heißt Sturmflutscheitelwasserstand oder kurz Sturmflutscheitel. Die Wanderung des Scheitels von Cuxhaven nach Hamburg (100 km) dauert etwa 3½ Stunden (Abb. 2.4). Diesen Zeitunterschied, der übrigens früher bei flacherer Elbe größer war, machte man sich für Warnzwecke schon in der Mitte des 19. Jahrhunderts zunutze. Wasserstände aus Cuxhaven wurden nach Hamburg telegraphiert und ab einer bestimmten Höhe warnte man mit Böllerschüssen.^[2] Die Tradition der Böllerschüsse wird bis heute beibehalten (Kap. 8).

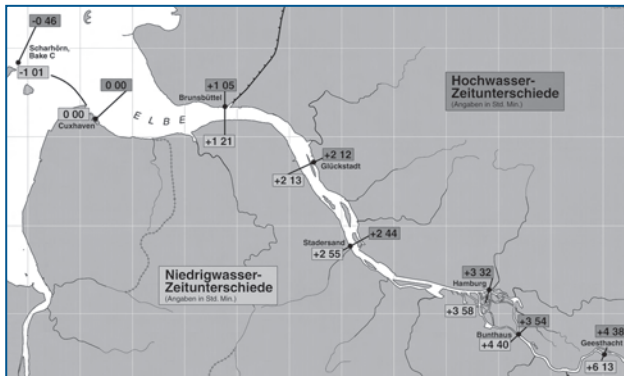


Abb. 2.4: Zeitunterschiede relativ zu Cuxhaven in den Eintrittszeiten der Hoch- und Niedrigwasser entlang der Elbe (gültig für 2012)

Die Sturmfluten sind für die Praxis einfach klassifiziert nach Abweichung vom MHW (Tab. 2.1). In Sturmflutwarnungen des BSH werden Intervalle von 0,5 m angegeben: Entweder in der Form von z. B. „3 bis 3,5 m über MHW“ oder in der Form „etwa 3 m über MHW“, wobei mit „etwa“ hier ein Intervall von 2,75 bis 3,25 m gemeint ist (andere Sturmfluthöhen analog).

Die Sturmflut 1962 gehört zu den sehr schweren Sturmfluten, wie sie nur selten vorkommen (Abb. 2.5). Wegen der Opferzahlen und der Schäden gilt sie als die schwerste Naturkatastrophe des 20. Jahrhunderts in Deutschland.

Bezeichnung	Wasserstandsbereiche
Sturmflut	1,50 bis 2,50 m über MHW (etwa 3,60 bis 4,60 m über NN)
Schwere Sturmflut	2,50 bis 3,50 m über MHW (etwa 4,60 bis 5,60 m über NN)
Sehr schwere Sturmflut	Ab 3,50 m über MHW (ab etwa 5,60 m über NN)

Tab. 2.1: Heutige Sturmflutklassifikation und entsprechende Wasserstandsbereiche. Die Grenzwerte der Klassen bezogen auf MHW sind seit Oktober 1984 gültig. Vorher, also auch 1962, lagen die MHW-bezogenen Grenzwerte der beiden hohen Klassen jeweils 0,5 m niedriger, ebenso der obere Grenzwert für „Sturmflut“.

Schwere bzw. sehr schwere Sturmfluten gab es in Hamburg nach 1962 nur deren 45 (Abb. 2.5). Eine Zunahme der Anzahl von Sturmfluten in der Zukunft ist aus Beobachtungen nicht abzuleiten. Weder

gibt es Trends in der Sturmhäufigkeit, noch sind deutliche Erhöhungen der Sturmflutwasserstände durch zukünftige Strombaumaßnahmen in der Elbe zu erwarten. Auch aus dem bis heute festgestellten Anstieg des relativen mittleren Meeresspiegels (Abb. 2.6) lässt sich kein wesentlicher Beitrag an zukünftigen extremen Sturmfluten ablesen. Relativ bedeutet hier, dass die nicht einfach zu bestimmende Landhebung oder -senkung am Pegelort nicht herausgerechnet wurde. Vorhersagen des weiteren Anstiegs des relativen Meeresspiegels im 21. Jahrhundert und in den Folgejahrhunderten sind nicht möglich.

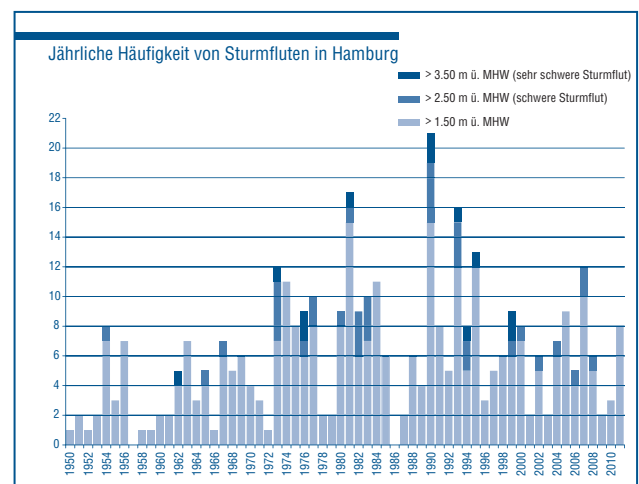


Abb. 2.5: Jährliche Häufigkeit von Sturmfluten in Hamburg. Vergleiche Tab. 2.1.

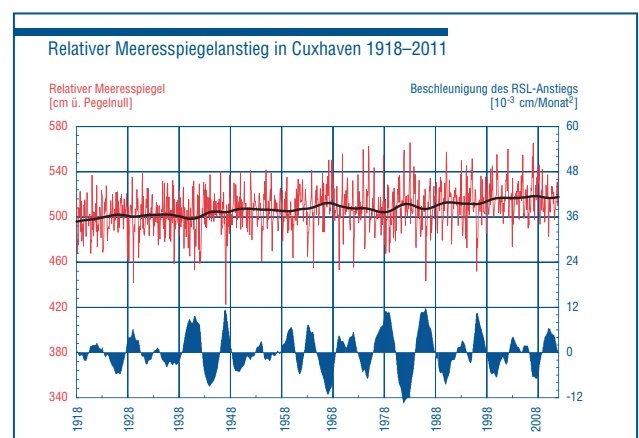


Abb. 2.6: Relativer Meeresspiegelanstieg in Cuxhaven 1918–2011. Oben: monatliche Mittelwerte mit geglättetem Verlauf; unten: Darstellung der Phasen mit positiver und negativer Beschleunigung des Anstiegs.

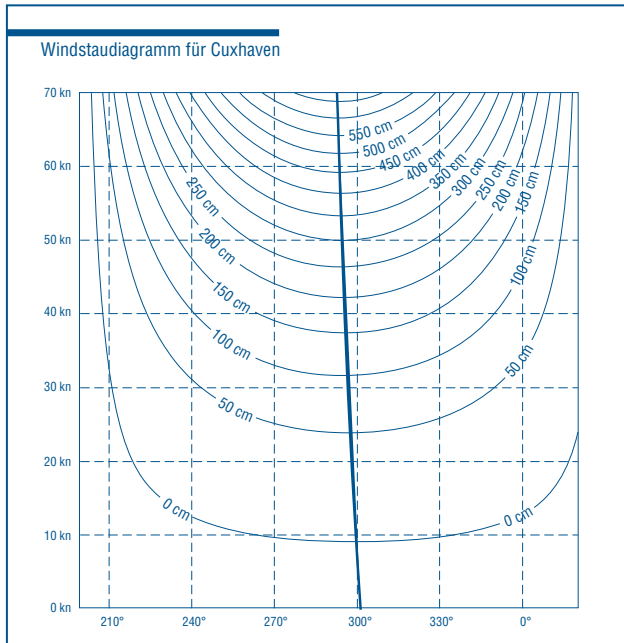


Abb. 2.7: Windstaudiogramm für Cuxhaven

Der höchste Sturmflutwasserstand an einem Ort an unserer Küste und in den Tideflüssen hängt von vielen Faktoren ab, aber weit überwiegend bestimmt der Wind in der südlichen Deutschen Bucht das Geschehen. Ein einfaches Windstaudiogramm zeigt die Schubwirkung des Windes (Abb. 2.7), die zum Gezeitenlauf in der Elbmündung in Cuxhaven hinzutritt. Es lässt sich auch ablesen, welches die gefährlichste Windrichtung ist. Weht der Wind aus Westnordwest, sind für Cuxhaven die größten Wasserstandserhöhungen gegenüber der astronomisch vorausberechneten Hochwasserhöhe zu erwarten. Ein solches empirisches Verfahren liefert nur dann gute Ergebnisse, wenn der Wind lange aus einer Richtung mit konstanter Windgeschwindigkeit weht. Das war 1962 weitgehend der Fall. Das erklärt auch die erste frühzeitige Warnung des Deutschen Hydrographischen Instituts (DHI, heute BSH) vor einer schweren Sturmflut von 2½ m über MHW, die am 16.02.1962 schon 15 Stunden vor Eintritt des Höchstwasserstandes in Hamburg erfolgte. Während der Flutphase wurde die Warnhöhe sukzessive erhöht. Am Abend lautete die Sturmflutwarnung des DHI, die vom Rundfunk um 20:25 Uhr ausgestrahlt wurde:

„Sturmflutwarnung des Deutschen Hydrographischen Instituts:

Für die gesamte deutsche Nordseeküste besteht die Gefahr einer sehr schweren Sturmflut. Das Nacht-Hochwasser wird etwa 3 m höher als das mittlere Hochwasser eintreten.“

Bei der späteren Ausstrahlung der Warnung des DHI im Fernsehen nach der Tagesschau (21:16–21:26) waren es dann schon 3 bis 3½ m. Dass es letztlich 4 m ü. MHW (entspricht 5,7 m ü. NN) waren, konnte erst 2 h vor der Katastrophe korrekt abgeschätzt werden. Die Rolle der Warndienste bei der Katastrophe wurde in der Folge eingehend untersucht.^[3] Relevante Versäumnisse auf Seiten der Vorhersagedienste konnten nicht festgestellt werden. Berechtigterweise wurde kritisiert, dass die an den Gezeitenflüssen liegenden Gebiete nicht ausdrücklich in der DHI-Warnung erwähnt wurden. Deshalb sind Elbe- und Wesergebiet heute im Warntext enthalten.

Private Hochwasserschutzanlagen entstanden überwiegend im Hafengebiet und am nördlichen Elbufer. Die ihre Flächen schützenden Elbanlieger schlossen sich zu sogenannten Poldergemeinschaften zusammen. Die Polder wurden im Wesentlichen auf den Hafenbetrieb ausgerichtet (Abb. 3.1). Um den dafür erforderlichen Funktionen gerecht zu werden, wurden für den Verkehr und die Festmacher u. a. ca. 880 Tore und Öffnungen eingebaut. Insgesamt hat heute der private Hochwasserschutz in Hamburg mit rund 100 km Hochwasserschutzwänden einen vergleichbaren Umfang wie die öffentlichen Anlagen, die ca. 104 km umfassen. Damit Tore und Verschlüsse bei Sturmfluten rechtzeitig geschlossen werden können, aber auch nicht vergeblich bedient werden, sind genaue Prognosen zur Höhe (Abb. 3.3) und zum Ablauf von Sturmfluten erforderlich. Jedes Schließen führt zu Einschränkungen des öffentlichen Verkehrs oder der betrieblichen Abläufe im Hafen und ist daher auf das notwendige Maß zu beschränken. In den gegen Sturmfluten geschützten Gebieten leben 180.000 Menschen, lagern Waren und Güter im Wert von mehr als 10 Milliarden Euro und befinden sich 140.000 Arbeitsplätze. In Abb. 3.2 sind die

tief liegenden Gebiete dargestellt, die ohne einen funktionierenden Hochwasserschutz von Sturmfluten betroffen sein könnten.

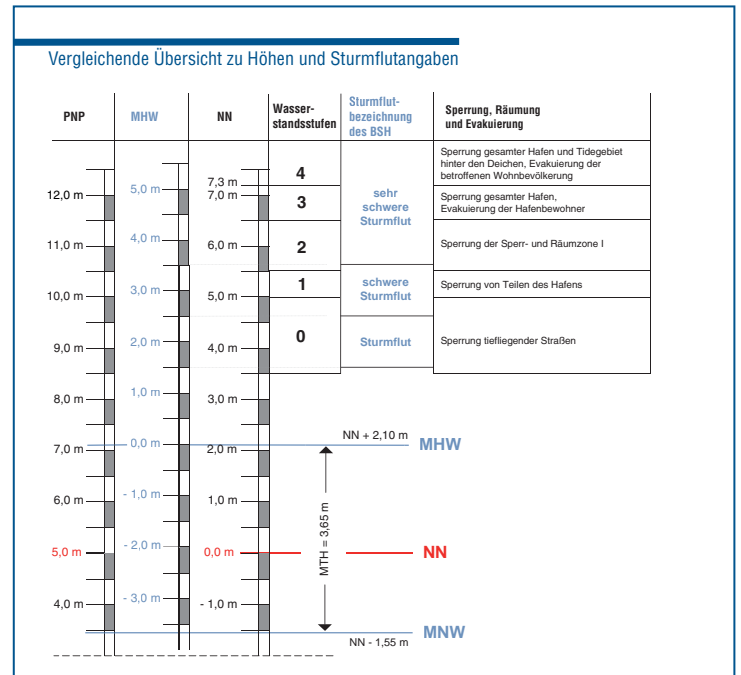


Abb. 3.3: Vergleichende Übersicht zu Höhen und Sturmflutangaben bezogen auf Pegelnullpunkt (PNP), Mittleres Hochwasser (MHW) und Normal Null (NN) am Pegel St. Pauli (PNP = NN-5,00 m)

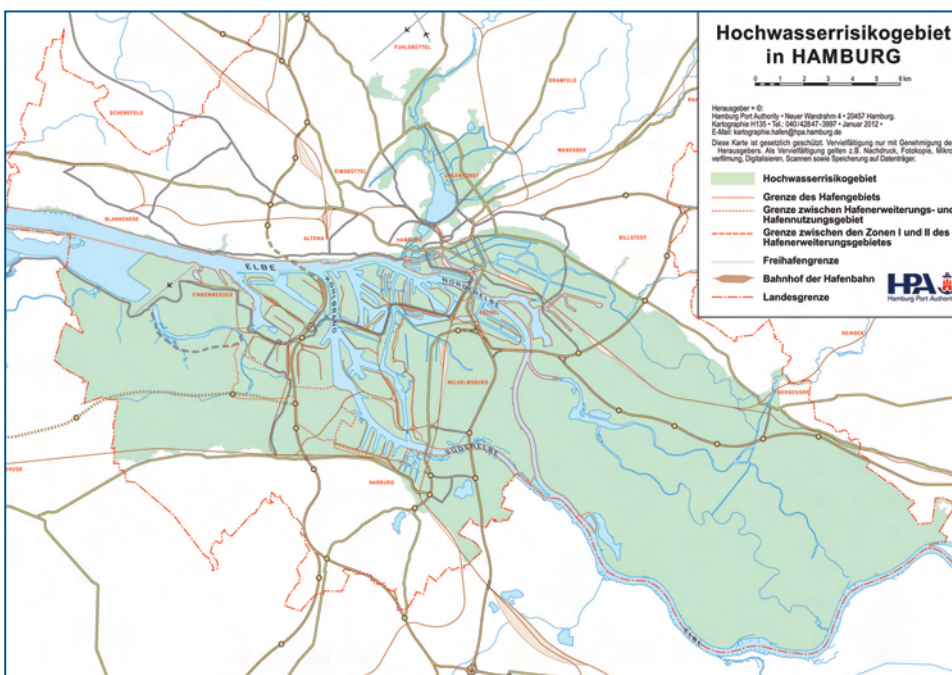


Abb. 3.2: Hochwasserrisikogebiet in Hamburg

4 Gezeiten Müller-Navarra

Gezeiten entstehen zur Hauptsache im offenen Ozean. Ihr Rhythmus wird durch die astronomische Konstellation von Sonne, Erde und Mond bestimmt. Das Hin und Her der Gezeiten und noch besser das Hoch und Runter lässt sich sehr genau berechnen. Die vom Meer abhängigen Küstenbewohner benutzen seit mehr als 100 Jahren die Gezeitentafeln des BSH und seiner Vorgänger, zu denen das Deutsche Hydrographische Institut gehört, das während des Hamburg-Orkans 1962 die Sturmflutwarnungen herausgab. Die astronomischen Vorausberechnungen des BSH – für ausgewählte Orte in den Tafeln veröffentlicht – bilden die Grundlage für jedwede Sturmflutvorhersage. Ein Vergleich der Tafeln für 1962 und 2012 zeigt, dass sich am Erscheinungsbild der Zahlenkolonnen wenig geändert hat (Abb. 4.1 und 4.2). Übrigens wurde heute wie damals das gleiche mathematische Berechnungsverfahren verwendet: die „harmonische Darstellung der

Ungleichheiten“. Damit ist ausgedrückt, dass der vom Mond bestimmte Rhythmus einer halbtägigen Gezeit und mittlere Hoch- und Niedrigwasserhöhen vorgegeben werden, und lediglich die Abweichungen (Ungleichheiten) davon harmonisch analysiert und dargestellt werden.

Die Minutenangaben in den Tafeln könnten den Eindruck vermitteln, dass der Termin des höchsten Wasserstandes bei einer Sturmflut bereits genau feststeht. Das ist aber nicht der Fall. Gezeitentafeln sind physikalisch betrachtet lange Wellen und schreiten umso schneller voran, je tiefer das Wasser ist. Bei Sturmfluten ist im Mittel die Wassertiefe größer und also gibt es die Tendenz, dass Sturmflutseitel schneller die Elbe hinauflaufen und der Höchstwasserstand früher eintritt als in den Gezeitentafeln angegeben. Die Eintrittszeit hängt aber auch stark von der Windentwicklung in der Deutschen Bucht und in der Elbmündung ab.

Hamburg 1962
Breite: 53° 33' N, Länge: 9° 58' O.

Tag	Januar		Februar		März		April		Tag
	H.W.	N.W.	H.W.	N.W.	H.W.	N.W.	H.W.	N.W.	
1	11 55	2 5	10 55	1 5	9 55	0 5	8 55	0 5	1
2	12 00	1 5	11 00	0 5	10 00	0 5	9 00	0 5	2
3	12 05	1 5	11 05	0 5	10 05	0 5	9 05	0 5	3
4	12 10	1 5	11 10	0 5	10 10	0 5	9 10	0 5	4
5	12 15	1 5	11 15	0 5	10 15	0 5	9 15	0 5	5
6	12 20	1 5	11 20	0 5	10 20	0 5	9 20	0 5	6
7	12 25	1 5	11 25	0 5	10 25	0 5	9 25	0 5	7
8	12 30	1 5	11 30	0 5	10 30	0 5	9 30	0 5	8
9	12 35	1 5	11 35	0 5	10 35	0 5	9 35	0 5	9
10	12 40	1 5	11 40	0 5	10 40	0 5	9 40	0 5	10
11	12 45	1 5	11 45	0 5	10 45	0 5	9 45	0 5	11
12	12 50	1 5	11 50	0 5	10 50	0 5	9 50	0 5	12
13	12 55	1 5	11 55	0 5	10 55	0 5	9 55	0 5	13
14	13 00	1 5	12 00	0 5	11 00	0 5	10 00	0 5	14
15	13 05	1 5	12 05	0 5	11 05	0 5	10 05	0 5	15
16	13 10	1 5	12 10	0 5	11 10	0 5	10 10	0 5	16
17	13 15	1 5	12 15	0 5	11 15	0 5	10 15	0 5	17
18	13 20	1 5	12 20	0 5	11 20	0 5	10 20	0 5	18
19	13 25	1 5	12 25	0 5	11 25	0 5	10 25	0 5	19
20	13 30	1 5	12 30	0 5	11 30	0 5	10 30	0 5	20
21	13 35	1 5	12 35	0 5	11 35	0 5	10 35	0 5	21
22	13 40	1 5	12 40	0 5	11 40	0 5	10 40	0 5	22
23	13 45	1 5	12 45	0 5	11 45	0 5	10 45	0 5	23
24	13 50	1 5	12 50	0 5	11 50	0 5	10 50	0 5	24
25	13 55	1 5	12 55	0 5	11 55	0 5	10 55	0 5	25
26	14 00	1 5	13 00	0 5	12 00	0 5	11 00	0 5	26
27	14 05	1 5	13 05	0 5	12 05	0 5	11 05	0 5	27
28	14 10	1 5	13 10	0 5	12 10	0 5	11 10	0 5	28
29	14 15	1 5	13 15	0 5	12 15	0 5	11 15	0 5	29
30	14 20	1 5	13 20	0 5	12 20	0 5	11 20	0 5	30
31	14 25	1 5	13 25	0 5	12 25	0 5	11 25	0 5	31

Hamburg, St. Pauli 2012
Breite: 53° 33' N, Länge: 9° 58' E.

Tag	Januar		Februar		März		April		Tag
	H.W.	N.W.	H.W.	N.W.	H.W.	N.W.	H.W.	N.W.	
1	11 55	2 5	10 55	1 5	9 55	0 5	8 55	0 5	1
2	12 00	1 5	11 00	0 5	10 00	0 5	9 00	0 5	2
3	12 05	1 5	11 05	0 5	10 05	0 5	9 05	0 5	3
4	12 10	1 5	11 10	0 5	10 10	0 5	9 10	0 5	4
5	12 15	1 5	11 15	0 5	10 15	0 5	9 15	0 5	5
6	12 20	1 5	11 20	0 5	10 20	0 5	9 20	0 5	6
7	12 25	1 5	11 25	0 5	10 25	0 5	9 25	0 5	7
8	12 30	1 5	11 30	0 5	10 30	0 5	9 30	0 5	8
9	12 35	1 5	11 35	0 5	10 35	0 5	9 35	0 5	9
10	12 40	1 5	11 40	0 5	10 40	0 5	9 40	0 5	10
11	12 45	1 5	11 45	0 5	10 45	0 5	9 45	0 5	11
12	12 50	1 5	11 50	0 5	10 50	0 5	9 50	0 5	12
13	12 55	1 5	11 55	0 5	10 55	0 5	9 55	0 5	13
14	13 00	1 5	12 00	0 5	11 00	0 5	10 00	0 5	14
15	13 05	1 5	12 05	0 5	11 05	0 5	10 05	0 5	15
16	13 10	1 5	12 10	0 5	11 10	0 5	10 10	0 5	16
17	13 15	1 5	12 15	0 5	11 15	0 5	10 15	0 5	17
18	13 20	1 5	12 20	0 5	11 20	0 5	10 20	0 5	18
19	13 25	1 5	12 25	0 5	11 25	0 5	10 25	0 5	19
20	13 30	1 5	12 30	0 5	11 30	0 5	10 30	0 5	20
21	13 35	1 5	12 35	0 5	11 35	0 5	10 35	0 5	21
22	13 40	1 5	12 40	0 5	11 40	0 5	10 40	0 5	22
23	13 45	1 5	12 45	0 5	11 45	0 5	10 45	0 5	23
24	13 50	1 5	12 50	0 5	11 50	0 5	10 50	0 5	24
25	13 55	1 5	12 55	0 5	11 55	0 5	10 55	0 5	25
26	14 00	1 5	13 00	0 5	12 00	0 5	11 00	0 5	26
27	14 05	1 5	13 05	0 5	12 05	0 5	11 05	0 5	27
28	14 10	1 5	13 10	0 5	12 10	0 5	11 10	0 5	28
29	14 15	1 5	13 15	0 5	12 15	0 5	11 15	0 5	29
30	14 20	1 5	13 20	0 5	12 20	0 5	11 20	0 5	30
31	14 25	1 5	13 25	0 5	12 25	0 5	11 25	0 5	31

Abb. 4.1: Gezeitenvorausberechnungen für Hamburg-St.-Pauli für Januar bis April 1962 (Höhenangaben: m ü. SKN [=NN-0,7 m])
Abb. 4.2: Wie Abb. 4.1, jedoch anderes Jahr: 2012 und anderer Höhenbezug: SKN=NN-1,9 m

Die Höhenangaben in den Gezeitentafeln für Hoch- und Niedrigwasser waren 1962 auf ein Seekarten-null (SKN) bezogen, das in etwa dem damaligen mittleren Springniedrigwasser entsprach. Heute liegt das SKN tiefer, womit negative Gezeitenwasserstände in den Zahlenkolonnen vermieden werden.

Allein Mond, Sonne und Erde in ihrem Zusammenspiel bewirken schon, dass ein einzelnes Hochwasser mehr als 50 cm vom mittleren Hochwasser abweichen kann. Das mittlere Hochwasser Hamburgs wird aus zurückliegenden Jahren für die jährlichen Ausgaben der Tafeln vorausberechnet. In Tab. 4.1 sind die MHW und andere Gezeitengrundwerte des Jahres 1962 denen von 2012 gegenübergestellt. Es gibt deutliche Unterschiede, die vornehmlich mit den Strombaumaßnahmen und Sturmflutschutzanlagen (Deiche, Sperrwerke) zusammenhängen. In sturmflutgefährdeten Gebieten lebende Bürger sollten mit den wichtigsten Begriffen und den örtlichen Zahlenangaben vertraut sein. Dann sind die Sturmflutwarnungen des BSH leicht verständlich. Sie erfolgen immer in Bezug auf das örtliche MHW. Dadurch können die Wasserstandsvorhersagen im Rundfunk in einem Satz zusammengefasst werden, und die Betroffenen brauchen sich nur eine Zahl, und zwar die Abweichung des höchsten erwarteten Wasserstandes über MHW, zu merken.

Alle Angaben in der unteren Tabellenhälfte – bezogen auf Pegelnullpunkt – lassen sich leicht auf NN umrechnen, indem 500 cm abgezogen werden. Wichtig bei Sturmflutwarnungen ist auch die Höhenlage des örtlichen MHW bezogen auf NN. MHW liegt in Hamburg in einer Höhe von 210 cm oder 2,1 Meter über NN. Eine Sturmflut von 1,5 Meter über MHW erreicht also einen Wasserstand von 3,6 m über NN.

Damit alle Betroffenen bei Sturmflutlage das Gefährdungspotenzial richtig einschätzen und wirksame Maßnahmen einleiten können, müssen sie mit den verschiedenen Höhenangaben und Höhenbezugspunkten vertraut sein (Abb. 3.3). Je nach Datenquelle sind die Angaben in Zentimeter, Dezimeter oder Meter über PNP, MHW und NN ausgedrückt.

Pegel Hamburg-St.-Pauli	1962	2012
Pegelnullpunkt (PNP [cm unter Normal Null])	500	500
Mittlerer Tidenhub (MTH [cm])	244	365
Mittleres Hochwasserintervall (MHWI [h:min])	16:08	15:21
Mittleres Niedrigwasserintervall (MNWI [h:min])	23:34	22:35
	[cm über PNP]	
Mittleres Hochwasser (MHW)	671	710
Mittleres Niedrigwasser (MNW)	427	345
Mittleres Springhochwasser (MSpHW)	685	728
Mittleres Springniedrigwasser (MSpNW)	423	336
Mittleres Nipphochwasser (MNpHW)	655	687
Mittleres Nippniedrigwasser (MNpNW)	430	356
Niedrigster Gezeitenwasserstand (NGzW)	410	315
Höchster Gezeitenwasserstand (HGzW)	710	763

Tab. 4.1: Gezeitengrundwerte für den Pegel Hamburg-St.-Pauli 1962 und 2012 im Vergleich.

5 Meteorologische Aspekte der Orkanentwicklung und ihrer Vorhersagbarkeit

Seifert

5.1 Die Voraussetzungen und die Ausgangslage im Februar 1962

Außertropische Sturm- oder Orkantiefs sind neben Hurrikannen die größten und energiereichsten Wirbel in der Atmosphäre. Sie entwickeln sich bevorzugt im Winterhalbjahr, wenn die beteiligten Luftmassen den größten Temperaturgegensatz aufweisen. Eine zusätzliche Intensivierung erfahren solche Tiefs durch eine günstige Lage innerhalb der, vielfach mäandrierenden, Westwinddrift.

Seit Beginn des Jahres 1962 hielt sich tiefer Luftdruck zusammen mit einem stark ausgeprägten Kältezentrum über Nordkanada und Labrador. Gleichzeitig hatte sich ein ausgeprägtes Azorenhoch etabliert. Dadurch wurde ein intensiver Transport subtropischer Warmluft in den nördlichen Atlantik ausgelöst. Aus dieser Luftdruck- und Temperaturverteilung konnte sich eine Serie von Sturmzyklonen bei Neufundland entwickeln.

Eine Phase intensiver Sturmtiefentwicklungen entstand aus dieser Temperatur- und Strömungsverteilung. Der Vorstoß subtropischer Luftmassen in Richtung Südgrönland und nachfolgender Kaltluft einbrüche von Nordwesten in die Frontalzone unter heftiger Zyklonogenese, funktionierte etwa seit dem 7. Februar. Dadurch hatte sich eine typische Sturmflutsituation für die Nordsee eingestellt.

5.2 Die Orkanentwicklung vom 14. bis zum 17. Februar 1962

3 Tage vor dem Orkantief, das in der Nacht zum 17. Februar die Sturmflutkatastrophe in Norddeutschland verursachte, war ebenfalls ein sehr kräftiges Tief nach Skandinavien vorgedrungen mit einem Kerndruck bis zu 945 hPa. Es hatte dem deutschen Küstengebiet bereits West- bis Nordweststurm mit Orkanböen gebracht. Es kam allerdings nicht zu einer kritischen Sturmflutsituation, weil ein Randtief südlich an der Deutschen Bucht vorbeizog und daher den Wind bereits in der Nacht zum 13. abflaute. Erst im Laufe des 13. setzten wieder starke bis stürmische Nordwest- bis Nordwinde auf der Rückseite dieses Teiltiefs ein, die bis zum 14. abends anhielten (Abb. 5.1).

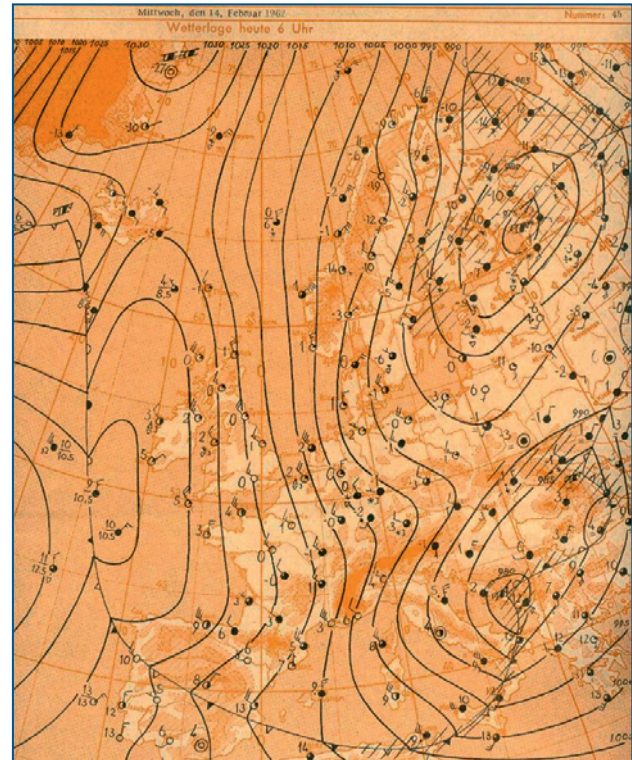


Abb. 5.1: Bodenwetterkarte vom 14.02.1962, 06 UTC

Unterdessen hatte sich wieder im Bereich um Neufundland, wo warme subtropische Luft und kalte Polarluft aus Labrador zusammentrafen, ein neues Tief entwickelt, das sich bis Südgrönland teilte. Der warme Teil vertiefte sich mit einem Zentrum von 995 hPa bei Island (Abb. 5.1) und gelangte am 15. als Sturmtief von 970 hPa ins Nordmeer (Abb. 5.2). Sein Vorderseitensturmfeld griff am 15. vormittags zunächst auf die nördliche Nordsee über. Damit hatten sich die Luftdruckgegensätze über der Nordsee verschärft, da das zum Teiltief gewordene Nordmeertief um das neue Zentrum südwärts zu schwenken begann, was sich durch erneuten Druckfall über der nördlichen Nordsee ankündigte. Die deutsche Küste erhielt daher am 16. vormittags eine Warnung vor Westnordwest Beaufort (Bft) 10–11, in Böen Bft 12.

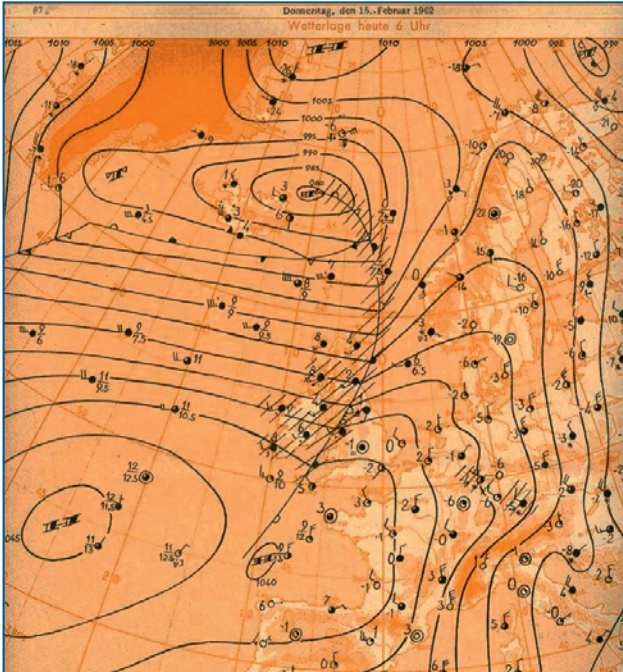


Abb. 5.2: Bodenerwetterkarte vom 15.02.1962, 06 UTC

Auch das Hamburger Stadtgebiet erhielt am Vormittag eine Warnung vor schwerem Nordweststurm mit Orkanböen (Abb. 5.3) durch den Meteorologen vom Dienst im Seewetteramt (Abb. 5.4).

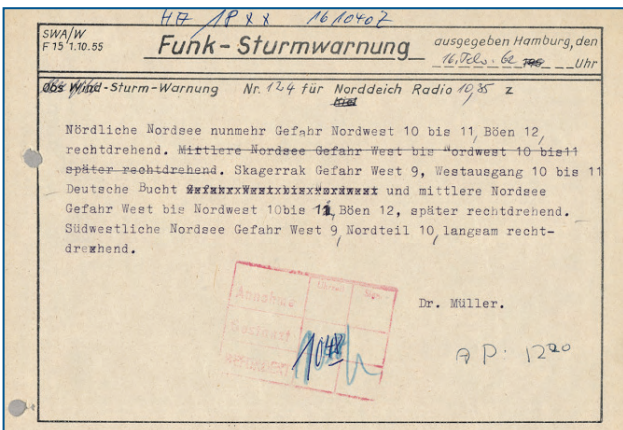


Abb. 5.3: Seewetterwarnung vor schwerem Sturm über der Nordsee und für das Gebiet Hamburg vom 16.02.1962, gegen 11 Uhr



Abb. 5.4: Meteorologe vom Dienst im Seewetteramt nach 1955

Am besten erschließt sich die Dramatik der meteorologischen Entwicklung anhand der Original-Wetterkarten. Südlich des Island-Grönland-Sturmtiefs läuft eine sogenannte Frontalzone-Welle in das System hinein und erfährt wegen günstiger Strömungslage und thermischer Verschärfung eine enorme Vertiefung. Am Folgetag ist aus dem Gesamtsystem ein umfangreiches Orkantief entstanden, das in einem breiten Sektor von den Shetlands bis in die Deutsche Bucht einen schweren Nordweststurm zur Folge hatte.

Die Kaltfront des über Schweden angelangten Tiefs erreichte Hamburg gegen Mittag (Abb. 5.5) mit einer Böe der Windstärke Bft 12 aus Westnordwest. Am Nachmittag folgten weitere heftige Böenstaffeln mit starken Schneeschauern, Gewittern und Windstärken mehrmals über Beaufort-Stärke 10–11. Der Höhepunkt des Sturmes wurde abends um 22:00 Uhr in der Deutschen Bucht mit mittlerer Windstärke Bft 9–10 (Böen Bft 11–12) und in Hamburg kurz nach Mitternacht mit einer Spitzenböe von 39 m/s = 130 km/h erreicht. Auch am Sonnabend, dem 17.02., dauerte der Sturm aus Nordwest mit Böen von Stärke Bft 10–11 an; erst am Abend meldeten die Nordseefeuerschiffe nur noch Stärke Bft 7.

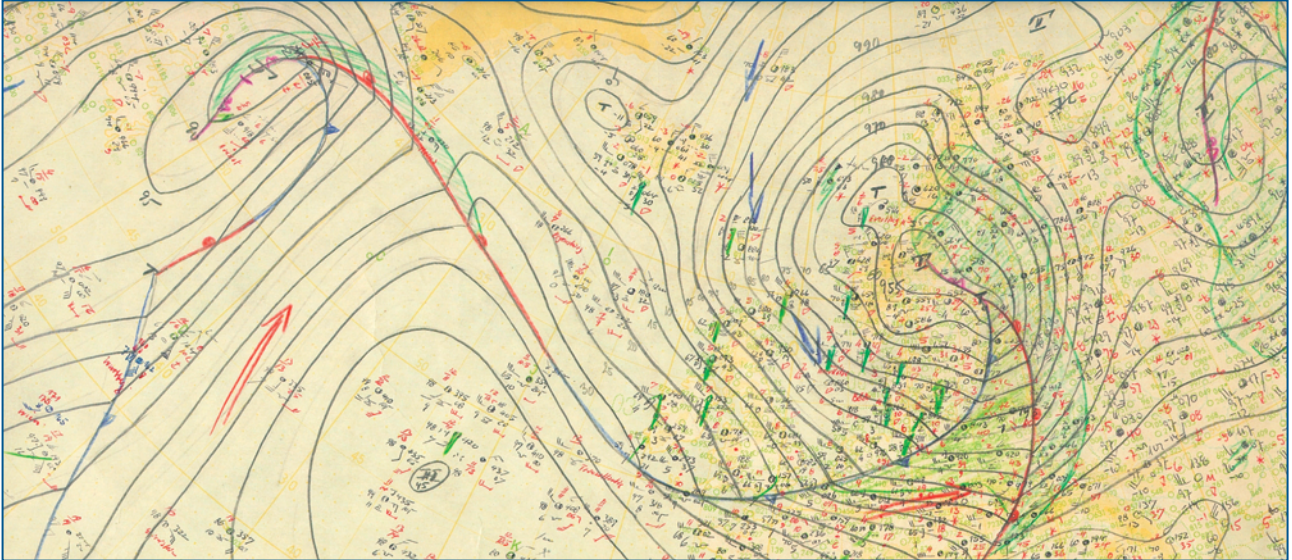


Abb. 5.5: Bodendruckanalyse des Seewetteramtes vom 16.02.1962, 12 UTC

Ein neues bei Island erschienenes Sturmtief zog glücklicherweise so weit im Norden vorbei, dass die deutsche Küste vor einem neuen Sturm bewahrt blieb. Bemerkenswert waren die außerordentlich heftigen Böen, die der Sturm vom 16./17.02. brachte, während die mittlere Windstärke verhältnismäßig gering blieb. Die Meldungen aus der Deutschen Bucht ergaben im Mittel Windstärke Bft 9. Beim Seewetteramt in Hamburg lag das gemessene Stundenmittel vom 16., 07:00 Uhr bis 17., 14:00 Uhr bei

Windstärke Bft 7, nur am 17. von 00:00 bis 01:00 Uhr bei Stärke Bft 8. Die Böen erreichten aber in dieser Zeit an der Nordseeküste – wie in Hamburg – häufig Stärke Bft 10–12. Das ungewöhnlich lange Sturmfeld, das sich von der Norwegischen See bis an die deutschen Küsten erstreckte und die lange Dauer des Sturmes (in der Deutschen Bucht fast 2 Tage lang Bft 8) drückten erhebliche Wassermassen in die südliche Nordsee (Abb. 5.6).

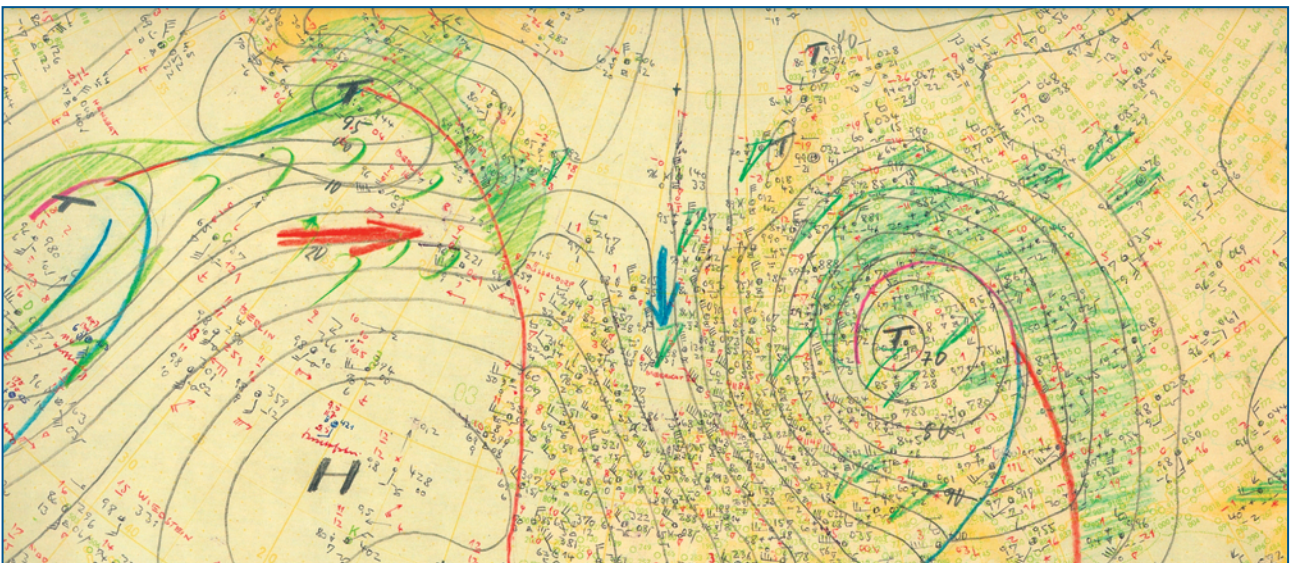


Abb. 5.6: Bodendruckanalyse des Seewetteramtes vom 17.02.1962, 12 UTC

Höhere Windgeschwindigkeiten sind nicht nur denkbar, sondern in der Deutschen Bucht sogar nach 1962 gemessen worden (23.02. und 17.10.1967 und am 3.01.1976). Die Sturmflut vom 17. Februar entwickelte sich einige Tage vor der Springzeit. Wären die geschilderten Wetterverhältnisse des 17. Februar zur Springzeit eingetroffen, so hätte man noch mit etwas höherem Wasserstand rechnen müssen.

5.3 Die damaligen meteorologischen Vorhersageverfahren

Bis in die 1970er Jahre standen die heute in allen nationalen Wetterdiensten genutzten Computermodelle der numerischen Wettervorhersage noch nicht zur Verfügung. Vielmehr wurden graphische Verfahren verwendet, die der deutsche Meteorologe Richard Scherhag (später FU Berlin) in den 1940er Jahren nach der Entdeckung des Strahlstroms und mithilfe dynamischer Stromfeldanalysen entwickelte.^[4]

Diese Verfahren basierten auf einer Steuerung eines Wirbels durch die Strömung in höheren Schichten, z. B. in 5 km Höhe bzw. in einem Druckniveau von 500 hPa (Abb. 5.7) und einer dynamischen Entwicklungsmethode über die Kopplung von 12- oder 24-stündigen Veränderungswerten des Bodenluftdrucks (Abb. 5.8) sowie der Mitteltemperatur der Atmosphären-Säule (relative Topographie).

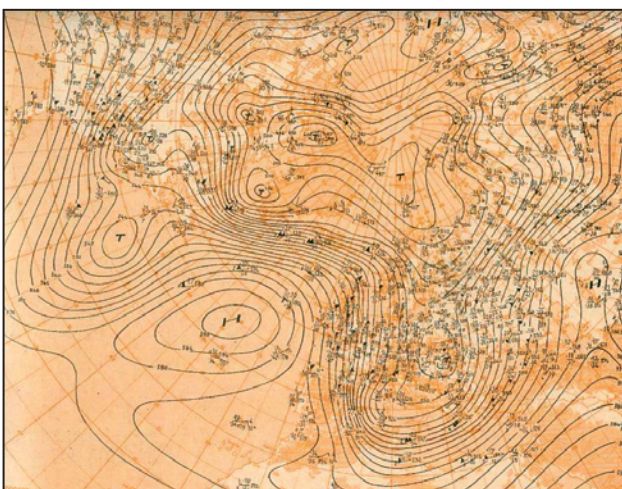


Abb. 5.7: Geopotenzial 500 hPa vom 15.02.1962, 00 UTC

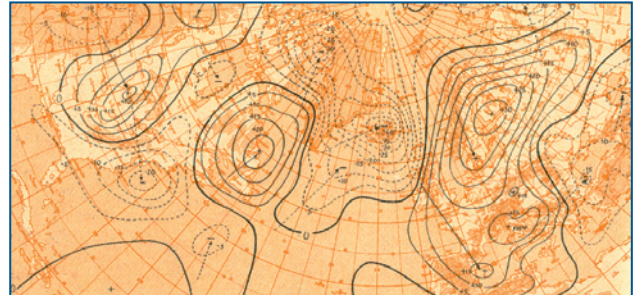


Abb. 5.8: 24-stündige Bodendruckänderung vom 15.02.1962, 00 UTC

Dieser Strömung wurde graphisch das Bodendruckfeld überlagert und mithilfe eines additiven Verfahrens die Drucktendenzen der vergangenen 24 Stunden aufgeprägt. Dadurch konnte graphisch eine Bodendruckstruktur mit Frontensystemen konstruiert werden, wie man in Abb. 5.9 sehen kann.

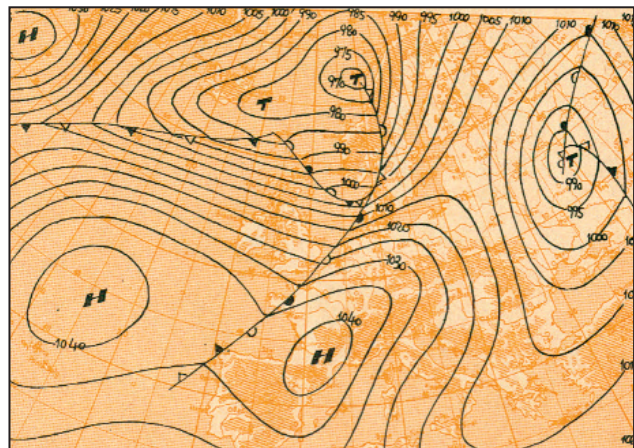


Abb. 5.9: 24-stündige Bodendruckvorhersage mit Fronten für den 16.02.1962, 06 UTC

Vergleicht man diese Abbildung mit Abb. 5.1, erkennt man die starke Drängung der Isobaren über der Nordsee sowie das Tiefzentrum vor der Norwegischen Küste. Eine genauere Analyse ergibt allerdings, dass der Kerndruck um 20 hPa zu hoch ist (968 hPa zu analysierten 953 hPa). Dadurch ergibt sich eine noch wesentlich stärkere Drängung der Isolinien in der Nordsee mit Windstärken, die um nahezu 2 Bft höher ausfielen als nach der Vorhersagekarte zu vermuten. Die Vorhersage für den 17.02.1962 (Abb. 5.10) sieht zunächst ebenfalls recht gut getroffen aus; aber auch hier ist der Kerndruck zu hoch in der Vorher-

sage und damit auch der Luftdruckgradient über der Nordsee nicht stark genug, um mittlere Windstärken von Bft 10 zu erhalten.

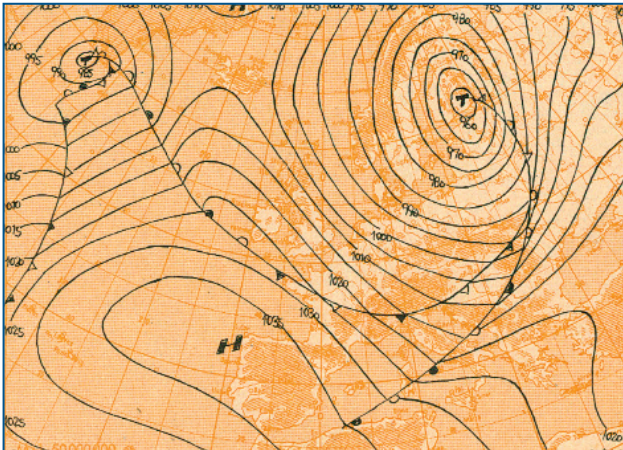


Abb. 5.10: 24-stündige Bodendruckvorhersage mit Fronten für den 17.02.1962, 06 UTC

Dennoch ist es unter Berücksichtigung der damaligen Möglichkeiten eine gute Leistung gewesen, am Vormittag des 16.02. Orkanwarnungen für die Nordsee, Deutsche Bucht und das nördliche Binnenland herauszugeben. Zu diesem Zeitpunkt fing die Winddrehung auf Westnordwest erst an, und die Orkanerhöhung in der Nacht war der Vorhersagekarte nicht unmittelbar zu entnehmen. Es war ja schließlich der Nordwest-Orkan und seine anschließende Andauer, welche die Katastrophe in der Elbmündung und für Hamburg auslöste.

5.4 Simulationen der Orkanwetterlage mit dem heutigen operationellen Modell des Deutschen Wetterdienstes

Der Deutsche Wetterdienst verwendet eine 3-stufige Modellkette (Abb. 5.11) mit einem globalen Modell (GME), einem Modell im Europaausschnitt (COSMO-EU) und einem feinskaligen Modell (COSMO-DE). An jedem Gitterpunkt müssen Druck, Temperatur, Wind, Wasserdampf, Wolken usw. zum Anfangstermin (Starttermin der Vorhersage, z. B. heute 00 UTC) interpoliert werden. Dann kann die zukünftige Wetterentwicklung auf der Grundlage der Modellgleichungen berechnet werden.

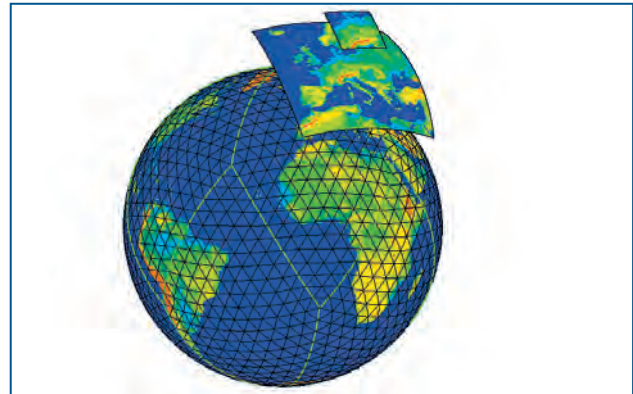


Abb. 5.11: Schematische Gitterstruktur der jetzigen Modellkette des DWD

Es müssen also Prognose- und Erhaltungsgleichungen berechnet werden. Für den Massenerhalt werden die Druckgleichung, für den Impuls die Windgleichung, für die Energie die Temperaturgleichung und für die Feuchte die Wasserdampfgleichung sowie Gleichungen für Wolkenwasser, Wolkeneis, Regen und Schnee berechnet. Dazu kommen noch Bilanzgleichungen für weitere gasförmige Anteile, was in Abb. 5.12 schematisch dargestellt ist.

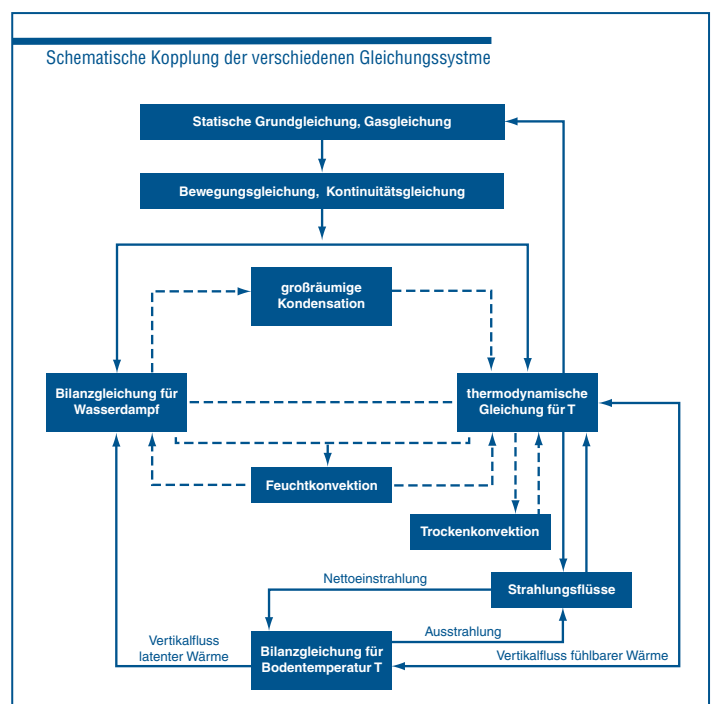


Abb. 5.12: Schematische Kopplung der verschiedenen prognostischen und diagnostischen Gleichungssysteme

Der Orkan in der Zeit vom 16.02. bis zum 17.02.1962 wurde mit der Modellkette des DWD und den damals zur Verfügung gestandenen Mess- und Beobachtungsdaten nachanalysiert.^[5]

Aufgrund dieser Analysen konnten Vorhersagen berechnet werden, die ganz eindeutig die Verbesserung der meteorologischen Prognoseleistung belegen.

Die 18-stündige Vorhersage für den Zieltermin des 16.02.1962, 18 UTC, ausgehend vom 16.02.1962, 00 UTC, ist in Abb. 5.13 dargestellt.

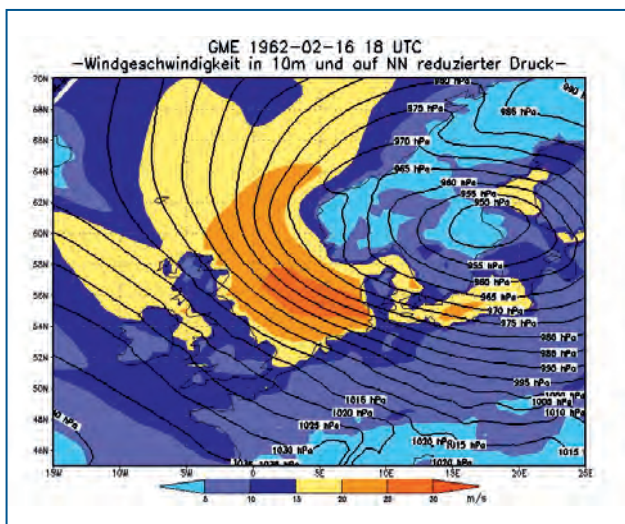


Abb. 5.13: Nachrechnung der Bodendruck- und Windverteilung über der Nordsee mithilfe einer 18-stündigen Prognose des derzeitigen globalen Modells des DWD für den 16.02.1962, 18 UTC

Es ist die starke Drängung der Isobaren (also der starke Druckgradient) zu erkennen, und die prognostizierten Windgeschwindigkeiten sind farblich unterschieden. Im deutschen Küstenvorfeld werden, in Ocker dargestellt, Windgeschwindigkeiten bis 25 m/s (50 Knoten = Bft 10) berechnet und in der äußeren deutschen Bucht und der mittleren Nordsee in roter Farbe bis 30 m/s (60 Knoten = Bft 11) prognostiziert.

Eine feinerskalige Anschlussrechnung mit dem COSMO-DE (Gitterweite 2,8 km) sieht man in Abb. 5.14. Auch hier ist das Druck- und Windfeld sehr realistisch vorhergesagt und deckt sich sehr gut mit der tatsächlichen Beobachtung bzw. Analyse.

Verbreitet Windstärken Bft 9–10 im küstennahen Vorfeld und in der nördlichen Deutschen Bucht sowie mittleren Nordsee Windstärken Bft 11 (bis 30 m/s).

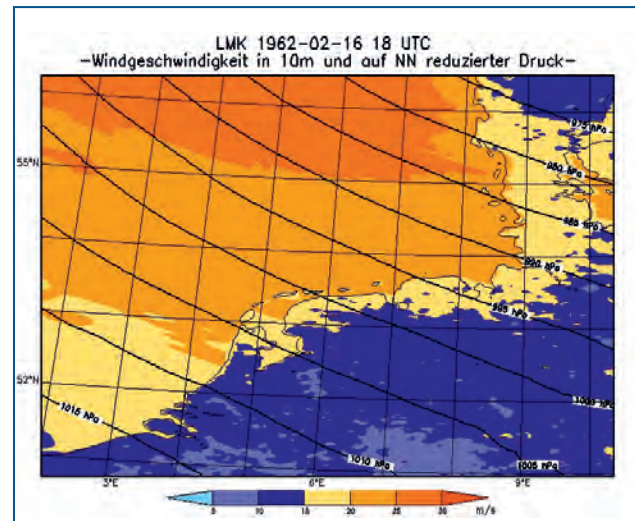


Abb. 5.14: Nachrechnung der Bodendruck- und Windverteilung über der Nordsee mithilfe einer 18-stündigen Prognose des derzeitigen feinerskaligen Modells des DWD (COSMO-DE) für den 16.02.1962, 18 UTC

6 Sturmflutvorhersage für die deutsche Küste und die Tideflüsse

Müller-Navarra

Nach Seeaufgabengesetz §§ 1 u. 5 obliegt dem BSH der Gezeiten-, Wasserstands- und Sturmflutwarndienst. Die örtlichen Katastrophenstäbe der Küstenländer Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg und Mecklenburg-Vorpommern können sich auf die Vorhersagen des BSH für Nord- und Ostsee und die Tideflüsse stützen. Zusätzlich ist damit gewährleistet, dass einheitliche Warnungen herausgegeben werden und die Bevölkerung nicht durch widersprüchliche Angaben verunsichert wird.

Die Computer-Revolution hat dazu geführt, dass fast alles, was 1962 im BSH noch Handarbeit war, heute automatisiert ist.^[6] Nach wie vor gilt aber, dass für gute Sturmflutvorhersagen und -warnungen auf die langjährige Erfahrung von Meteorologen (DWD) und Ozeanographen (BSH) nicht verzichtet werden darf. Für spezielle Fragestellungen unterhält die Hamburg Port Authority einen Sturmflutwarndienst (WADI), der seine Arbeit aufnimmt, wenn das BSH eine Vorhersage von 4,0 m über Normal Null oder höher herausgibt (s. Kap. 7).

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, ist bei Sturmflutvorhersagen zunächst von den Gezeitenvorausberechnungen des BSH auszugehen. Sie enthalten eine erste Schätzung der Eintrittszeiten der höchsten Wasserstände.

Der erhöhende Einfluss eines auflandigen Sturmes in der Deutschen Bucht ist aber noch einmal so groß wie der Tidenhub in Hamburg (3,65 m) oder gar noch größer. Deshalb ist eine gute Windvorhersage für die Nordsee und speziell für die südliche Deutsche Bucht bedeutsam. Im Vorhersageschema des BSH (Abb. 6.1) nimmt die Wind- und Wettervorhersage einen bedeutenden Platz ein. Wie schwierig die Windvorhersage bei Orkanwindstärken ist, behandelt u. a. das vorangegangene Kapitel 5. Hier sei zunächst erwähnt, dass heute das numerische Wettervorhersagemodell COSMO-EU des DWD (Abb. 5.11) das 2-dimensionale Nordsee-Windstaumodell des BSH antreibt. Der Begriff Windstau ist in der physikalischen Meereskunde eingeführt worden, mit dem Ziel, astronomische Gezeiten und meteorologische Einflüsse getrennt zu betrachten. Modelltechnisch macht das durchaus Sinn, denn numerische Wasserstandsmodelle können zwar den Einfluss des Windes auf die Gezeitenströme – den Windschub – gut berechnen, die Hoch- und Niedrigwasserzeiten und -höhen in Küstenorten werden aber wesentlich schlechter dargestellt als es die „harmonische Darstellung der Ungleichheiten“ (s. Kap. 4) vermag. Deshalb werden zwei Modelle betrieben: ein vollständiges Modell mit Gezeiten und Wind sowie ein reines Gezeitenmodell. Die Differenz der berechneten Wasserstandszeitreihen wird dann in Form eines Scheitelpunktstaus für die Anschlussverfahren bereitgestellt und kann in Karten (Abb. 6.2) dargestellt werden.

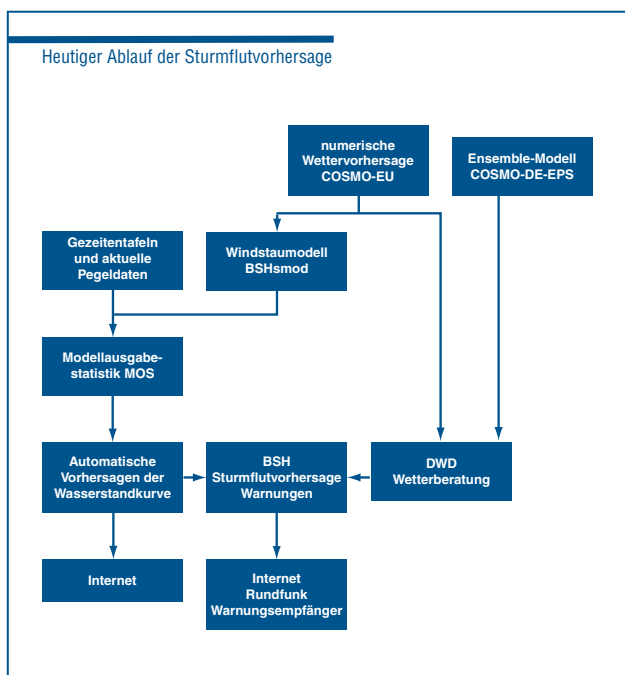


Abb 6.1: Heutiger Ablauf der Sturmflutvorhersage und -warnung des BSH für die deutsche Nordseeküste und die Gezeitenströme Ems, Weser und Elbe

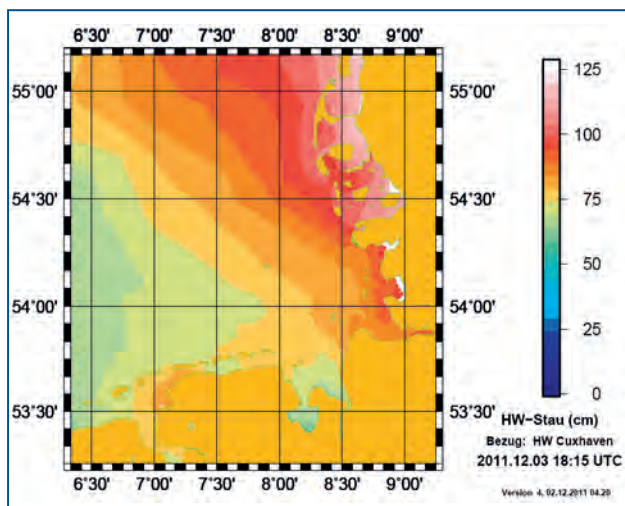


Abb. 6.2: Scheitelpunktstau berechnet vom 2-dimensionalen Staumodell des BSH

Im Zentrum der automatischen Wasserstandsvorhersage des BSH stehen heute die sogenannten MOS-Verfahren, die das BSH gemeinsam mit METEO SERVICE weather research GmbH (MSWR) entwickelt hat.^[7] MOS heißt „Model Output Statistics“, zu deutsch Modellausgabestatistik. Die bloße Modellausgabe erfährt eine statistische Korrektur, die von vielerlei Einflussgrößen abhängt, wobei die gemessenen Pegelstände große Bedeutung haben. Überhaupt sind aktuelle Pegelstände bei der Kurzfristvorhersage unverzichtbar. An ihnen lassen sich auch die unterschiedlichen Windverhältnisse an der Küste ablesen, sowie abschätzen, ob der Wind böig oder bei stabiler Schichtung eher gleichmäßig ist. MOS ermöglicht auch die Einbindung der Wasserstandsentwicklung benachbarter Pegel, deren mittleres Hochwasserintervall kleiner als das des Zielpegels (hier Hamburg) ist. Im MOS-Verfahren des BSH ist bei Kurzfristvorhersagen Brunsbüttel der „Co-Pegel“ Hamburgs. Das ist physikalisch wohl begründet. Auch früher schon, zu Zeiten rein empirischer Verfahren, schätzte man die Stauerhöhung zwischen der Elbmündung und Hamburg mit dem Pegelstand in Brunsbüttel ab. Heute lassen sich mit dem Windstaumodell in Verbindung mit MOS Pegelkurvenvorhersagen für die wichtigsten 30 Orte an der Nordseeküste von bis zu 6 Tagen – aktualisiert alle 15 Minuten – darstellen (Abb. 6.3), auch für

Hamburg (Abb. 6.4). Aus diesen Kurven lässt sich dann ablesen, wann bestimmte Höhen überschritten werden und wann der Wasserstand wieder darunter fällt. Zusätzlich wird noch der erwartete absolute Fehler der Vorhersage ausgegeben.

Langfristvorhersagen – nicht nur für Sturmfluten – sind in letzter Zeit immer wichtiger geworden, denn die komplexen Verhältnisse im Hafenbetrieb bis hin zur Entwässerung erfordern eine umsichtige Planung, auch des einzusetzenden Personals.

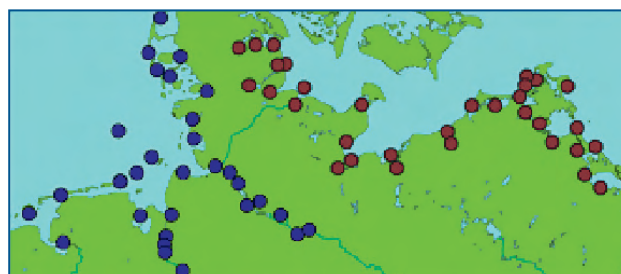


Abb. 6.3: Pegelorte mit MOS-Vorhersagen des BSH. Blau: 30 Pegel an der Nordseeküste, braun: 32 Pegel an der Ostseeküste

Abb. 6.4 zeigt die neueste Art der Darstellung der BSH-Vorhersagen und sei deshalb hier ausführlich erläutert. Es handelt sich hier um eine 3-Tage-Vorhersage des Wasserstandes. Über der Zeitachse findet sich die Windvorhersage für Helgoland, wobei die obere Zahl die Windgeschwindigkeit in Knoten [kn] und die untere Zahl die Windrichtung ist. Die Achse auf der linken Seite gibt den Wasserstand über Pegelnull an, die rechte Skala ist auf Seekartennull bezogen (SKN in Hamburg z. Zt.: 310 cm über Pegelnull bzw. 190 cm unter NN). Die grüne Kurve ist die astronomische Vorausberechnung, also ein Wasserstand (fast) ohne meteorologischen und hydrologischen Einfluss. Die rote Kurve ist der gemessene Wasserstand am Pegel St. Pauli. Die blaue Verlängerung dieser Kurve zeigt die Vorhersage des Wasserstandes in einem mittleren Zeitschritt von 15 Mondminuten (entspricht etwa 15,525 Minuten). Bei kleinem Windeinfluss schmiegt sich diese Kurve an die astronomische Vorausberechnung (grüne Kurve) an. Weiterhin sind an die blaue Kurve kleine senkrechte, graue Balken angebracht, die den separat vorhergesagten, erwarteten abso-

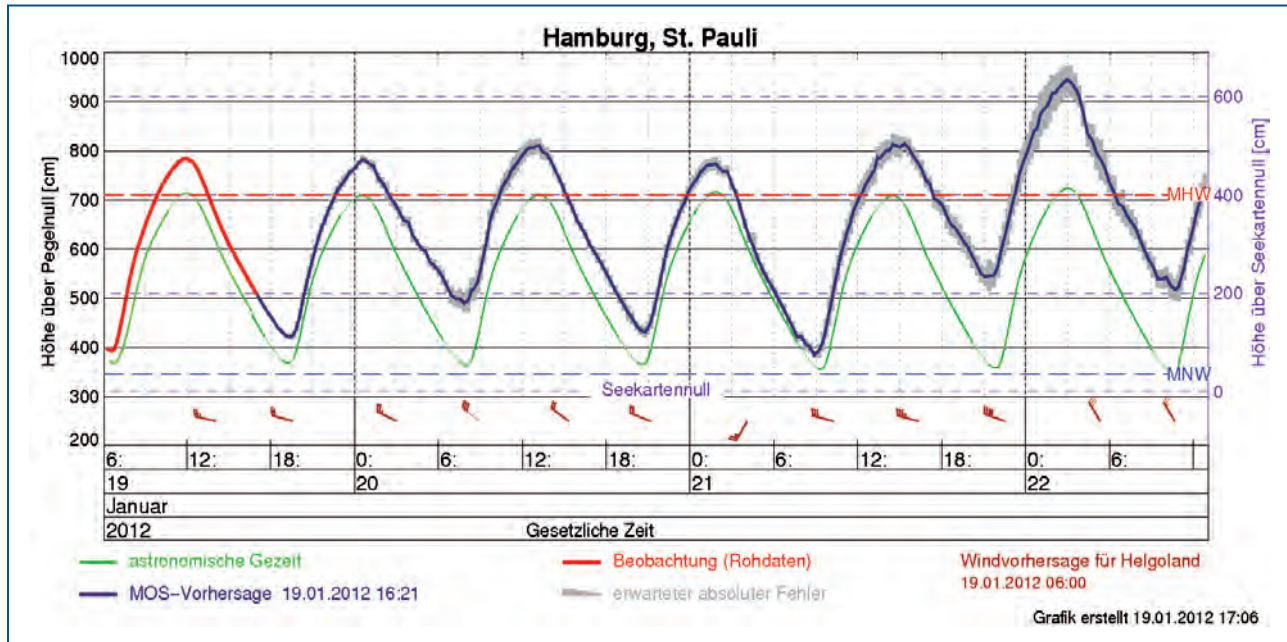
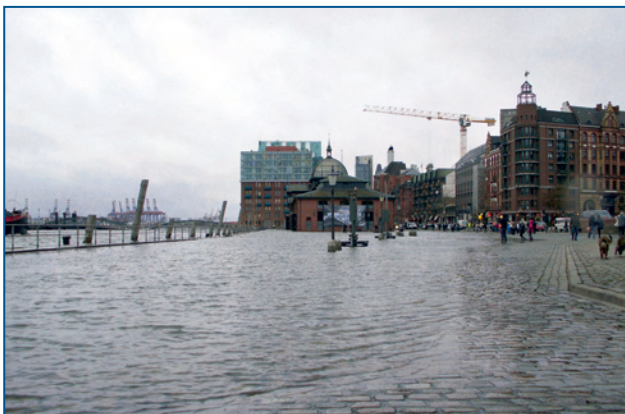


Abb. 6.4: BSH-Wasserstandsvorhersagen für Hamburg-St.-Pauli mit MOS (www.bsh.de). Oberhalb der Uhrzeit findet sich zu den HW- und NW-Zeitpunkten noch eine Windvorhersage für Helgoland aus dem Wettervorhersagemodell COSMO-EU (DWD).

luten Fehler der Vorhersage darstellen. Derartige Abbildungen finden sich auf www.bsh.de als 0- bis 24-h-Vorhersage (Abb. 8.5), 0- bis 3-Tage-Vorhersage (Abb. 6.4) und als 3- bis 6-Tage-Vorhersage. Ein gutes Beispiel für die Nützlichkeit längerfristiger Sturmflutvorhersagen ist die Hamburger Fischauktionshalle, ein beliebter Ort für Feierlichkeiten. Ab Wasserständen von mehr als 1,4 m über MHW tritt das Wasser am Fischmarkt bereits über die Kaimauer (Abb. 6.5) und bei einem Wasserstand von 1,75 m über MHW steht das Elbwasser in der Halle. Feierlichkeiten dort sind also in besonderer Wei-



se von guten Vorhersagen abhängig. Nicht selten fragen die Veranstalter, zu welcher Zeit das Wasser wieder weg ist; es lässt sich auch bei feuchtem Boden feiern!

Ein weiteres numerisches Vorhersagemodell mit großem Potenzial zur Qualitätssteigerung der Vorhersagen ist in jüngster Zeit hinzugekommen. Es ist das 3-dimensionale operationelle Elbmodell, das im Projekt OPTTEL vom BSH entwickelt worden ist.^[6] Ausgegeben werden nicht nur der Wasserstand (Abb. 6.6), sondern auch Strömungen (Abb. 6.7), Salzgehalt, Wassertemperatur und im Winter die Eisbedeckung. Mit einer horizontalen Auflösung von 90 m erlaubt es die Berechnung der Wasserspiegelhöhe an jedem Ort bis hinauf nach Bleckede (Abb. 2.3). Aber auch für das Elbmodell gilt: Auf NN bezogene Wasserstände lassen sich nur in Verbindung mit aktuellen Pegelmessungen herleiten.

Abb. 6.5: Über die Kaimauer auf den Fischmarkt getretenes Elbwasser am 9. Dezember 2011 nachmittags

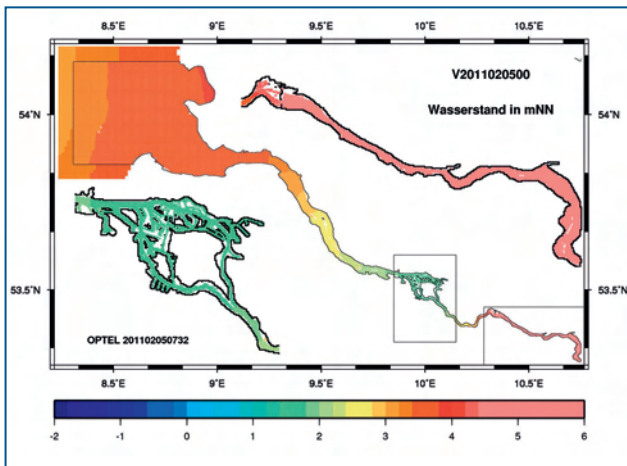


Abb. 6.6: Elbemoell OPTEL, Wasserstand am 5. 02. 2011

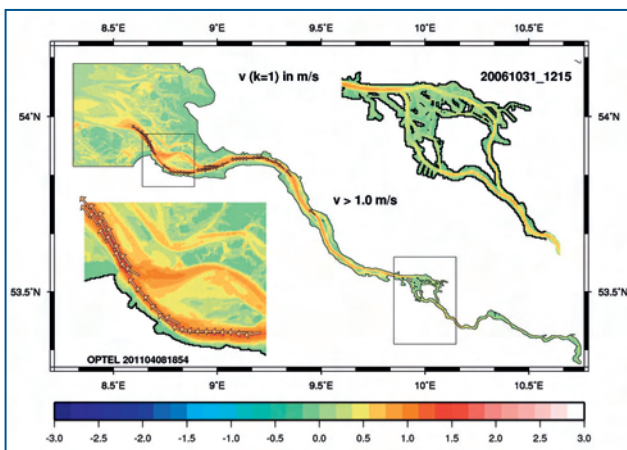


Abb. 6.7: Elbemoell OPTEL, Strömung am 31.10.2006, 12:15 vor der „Allerheiligenflut“

Nun erscheint es so, als ob mit der automatischen MOS-Vorhersage und dem operationellen Elbemoell das Problem Sturmflutvorhersage für Hamburg gelöst ist. Das ist aber nicht der Fall. Zwar sind in diese Verfahren die relevanten physikalischen Gesetzmäßigkeiten und alle wesentlichen Quellen mit aktuellen Messungen eingebunden, es treten aber insbesondere bei Sturmflutwetterlagen beliebig viele Situationen auf, in denen der Mensch eingreifen muss, weil z. B. die Modellkette offensichtlich unzutreffende Vorhersagen produziert oder ausfällt, Pegel keine Daten mehr in die Fernübertragung speisen oder letztere gar ausfällt. Deshalb ist im Ablaufdiagramm (Abb. 6.1) nach der automati-

schon Vorhersage und vor der Herausgabe von Warnungen noch eine Ebene vorhanden, die dem Menschen vorbehalten ist. Bei Sturmflutwetterlagen lässt sich der diensthabende Ozeanograph des BSH vom Seemeteorologen des DWD laufend über die Windentwicklung beraten, der dabei auch numerische Wettervorhersagemodelle ausländischer Dienste zu Rate zieht. Gerade bei Sturmflutwetterlagen wird auch sorgfältig geprüft, ob die 4-mal täglich laufenden Wettermodelle noch mit den Messungen auf See konform gehen. Ist das nicht der Fall, greift der Seemeteorologe korrigierend ein; und nicht selten werden die Modellvorhersagen um eine halbe bis eine Windstärke verändert. Mit dieser Beratung gewappnet und auf die eingehenden Pegeldata schauend, verschafft sich der Ozeanograph nun einen Überblick über die aktuelle Wasserspiegellage in der deutschen Bucht. Ergibt sich ein widerspruchsfreies Bild, d. h. passen Wind und Wasserstand zusammen, dann kann dem Windstaumodell und MOS für die Kurzfristvorhersage gefolgt werden. Bei Sturmfluten bleibt dann noch übrig, sich über die richtige Warnstrategie Gedanken zu machen. Gerade bei schnell ziehenden Orkantiefs ist es nicht besonders zielführend, früher als einen Tag vor dem Ereignis sehr hoch zu warnen. Eine um wenige Stunden andere Entwicklung führt eventuell zu einer „Sturmebbe“, also zu einem stark erhöhten Niedrigwasser, was zwar einen hohen Stau aufweist, aber maximal das Niveau eines mittleren Hochwassers erreicht. So etwas hat es durchaus schon gegeben und es verlangt viel Erfahrung und gute Nerven zu rechter Zeit die richtigen Warnungen auszusprechen. Fatal ist, aus falschem Sicherheitsverständnis heraus öfters zu früh und zu hoch zu warnen. Daraus würde letztlich resultieren, dass die Warnungen (s. Abschn. 8.2.1) keiner mehr glaubt. Alle genannten Ergebnisse der BSH-Verfahren stehen auch dem Hamburger Sturmflutwarndienst WADI zur Verfügung, der aus Messungen Kurzfristvorhersagen für Hamburg ableitet mit einem Fokus auf schwere Sturmfluten und deren Folgen für den Hafen.

7 Sturmflutvorhersage für Hamburg

Lehmann, Maudrich mit Unterstützung von Ulrich Ferk, HPA

Für die operationellen Zwecke des Katastrophenschutzes bei schweren und sehr schweren Sturmfluten wurde nach der 1976er Sturmflut der Hamburger Sturmflutwarndienst (WADI) bei Strom- und Hafenausbau eingerichtet, der heute in dessen Nachfolgeorganisation Hamburg Port Authority (HPA) betrieben und weiterentwickelt wird. Für die Abwehrmaßnahmen in Hamburg werden präzisierte Wasserstandsvorhersagen für verschiedene Orte im Hafen und die genaue Eintrittszeit des Sturmflutseitels benötigt. Dies ist die Aufgabe des WADI. Wenn Wasserstände von über 4,50 m über NN zu erwarten sind, gibt der WADI für Hamburg Sturmflutvorhersagen heraus, welche die Entscheidungsgrundlage für die Einleitung von Maßnahmen der Katastrophenschutzbehörde bilden.

Im Einsatz aktualisiert der WADI seine Vorhersagen halbstündlich und warnt die Katastrophenschutzbehörden und die betroffenen Bewohner. Die Katastrophenschutzbehörde erhält die Information

des WADI direkt und übernimmt die Warnung über die Medien. An die Polder und die Hafengebwohner erfolgt die Warnung über den Hafenfunk. Im sturmflutgefährdeten Bereich der Elbe sind die Bewohner aufgefordert, sich einen sogenannten WADI-Funkempfänger anzueignen. Die Meldungen des WADI können zudem über eine allgemein zugängliche öffentliche Telefonauskunft abgehört werden.

An die Sturmflutvorhersagen für Hamburg werden besondere Anforderungen gestellt. Dies liegt nicht zuletzt an den Verhältnissen im Hamburger Hafen, wo ein komplexes Geflecht aus verschiedenen Arealen mit unterschiedlichen Schutzniveaus besteht. Während der öffentliche Hochwasserschutz auf einen Bemessungswasserstand von NN+7,30 m ausgelegt ist, überfluten einzelne, tief liegende Hafenteile bereits, wenn der Wasserstand eine Höhe von NN+5,00 m erreicht. Der Hafen muss deshalb auf die erwartete Sturmfluthöhe abgestimmt gesperrt und ggf. zügig geräumt werden (Abb. 7.1).

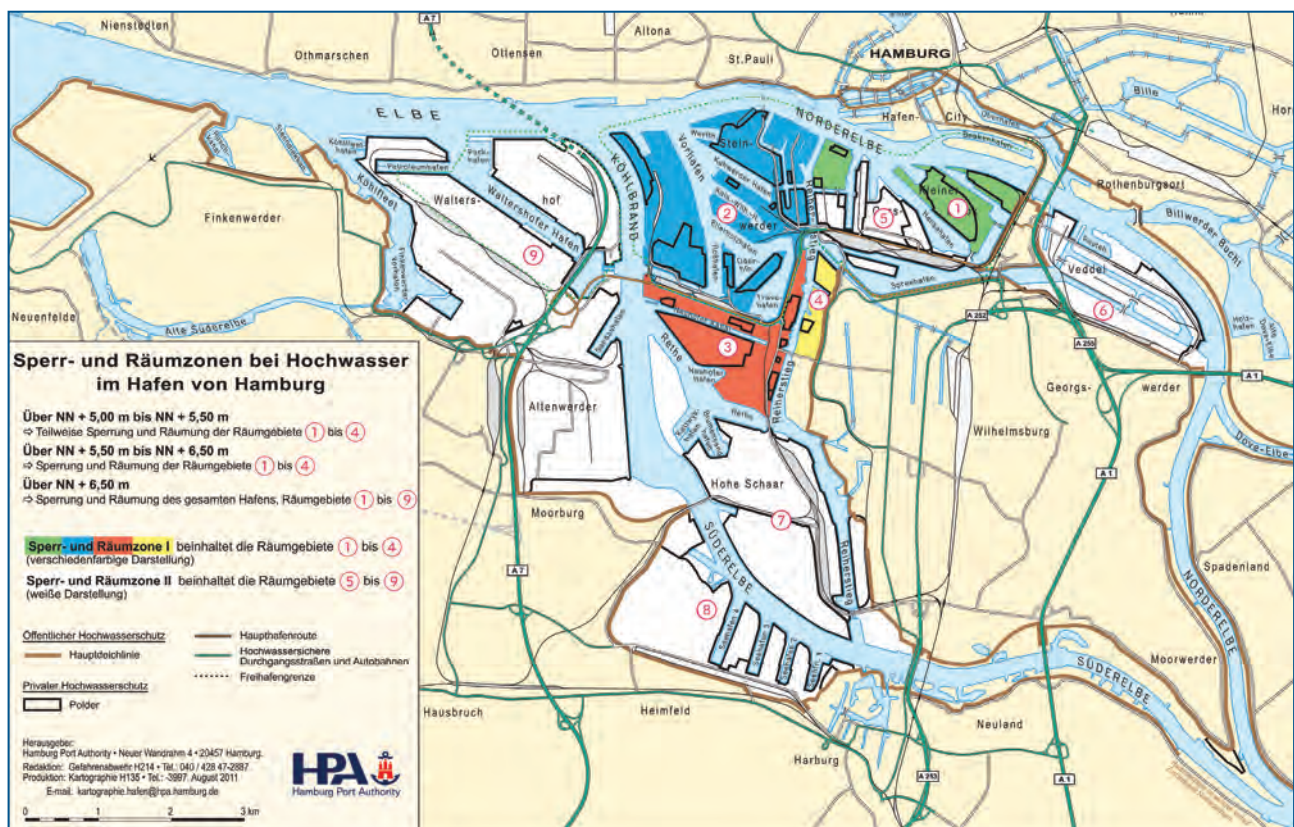


Abb. 7.1: Sperr- und Räumzonen im Hafen

Bei einer Sturmflutvorhersage ist daher nicht nur die Scheitelhöhe von Interesse, sondern auch deren genaue Eintrittszeit. Darüber hinaus ist – mit Blick auf mögliche zeitgerechte Räumungen und Sperrungen niedrig liegender Gebiete – auch die Bestimmung der Eintrittszeit bestimmter Zwischenwasserstände von Bedeutung. In den Fokus gelangt somit neben dem Scheitel der gesamte Verlauf der Sturmflutkurve.

Während die Sturmflutvorhersagen des BSH hauptsächlich auf der Basis mathematischer Simulationsmodelle erstellt werden, beruht das im WADI zur Anwendung kommende Vorhersageverfahren auf einer statistischen „Hochrechnung“ von unmittelbar während bzw. im zeitlichen Vorfeld der Flut gemessenen Wasserstands- und Winddaten. Grundgedanke des Verfahrens ist eine möglichst präzise Vorhersage der sog. „Windstaukurve“ am Pegel Cuxhaven. Als „Windstau“ wird – vereinfacht gesagt – die Differenz zwischen gemessenem Wasserstand zum mittleren Tideverlauf bezeichnet. Die Vorhersage des Windstauverlaufs in Cuxhaven ist der „Schlüssel“ für die Vorhersage der Sturmflut in Hamburg.

Um die Sturmflut in Hamburg möglichst frühzeitig bestimmen zu können, werden im WADI-Einsatzfall Entwicklung und Verlauf der Sturmflut in der Nordsee genau verfolgt. Die gemessenen Daten werden mit Hilfe empirisch-statistischer Methoden, die auf langjährigen Beobachtungen des Sturmflutablaufs beruhen, ausgewertet und unmittelbar für die Prognose verwendet. Da sich die Tidewelle in der südlichen Nordsee entlang der niederländischen und niedersächsischen Küste von West nach Ost in Richtung Elbmündung bewegt, ist eine Betrachtung der Wasserstands- und Windstauentwicklung an den Pegeln Terschelling (westfriesische Insel) sowie Borkum und Cuxhaven ein wichtiger Eckpfeiler des Verfahrens. Um den Windeinfluss über der Deutschen Bucht bei der Wasserstandsvorhersage berücksichtigen zu können, werden darüber hinaus Winddaten von Messanlagen auf den Inseln Scharhörn und Neuwerk in der Elbmündung herangezogen (Abb. 7.2).

Die wissenschaftlichen Grundlagen des WADI-Vorhersageverfahrens wurden bereits in den 1960er Jahren entwickelt.^[9] 1976 wurde das Verfahren offiziell eingeführt und seitdem mehrfach präzisiert und verfeinert.^[10] Das Verfahren wird kontinuierlich überprüft und fortgeschrieben, um einerseits die hydromorphologischen Veränderungen innerhalb des Elbeästuars, aber auch neueste wissenschaftliche Erkenntnisse zur Entwicklung und Propagation der Sturmfluten in der Nordsee bzw. der Unterelbe zu implementieren.^[11]

Für die Durchführung des WADI-Vorhersageverfahrens betreibt und unterhält die gewässerkundliche Abteilung der HPA ein automatisches Pegel- und Windmessnetz in Borkum, Cuxhaven und Hamburg sowie auf den Inseln Neuwerk und Scharhörn. Außerdem stellen das BSH und die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes weitere Daten zur Verfügung. Die Daten für den Pegel und die Windmessanlage auf der Insel Terschelling erhält die HPA vom niederländischen Rijkswaterstaat. Die gesammelten Daten können vom WADI ständig aktuell in der Einsatzzentrale abgerufen werden.



Abb. 7.2: Messstationen des WADI-Verfahrens

8 Heutige Abläufe der Warnverfahren

Müller-Navarra, Seifert, Lehmann, Maudrich

8.1 Wetter-, Sturm- und Orkanwarnungen des Deutschen Wetterdienstes

Das Gesetz über den Deutschen Wetterdienst (DWD) in der neuesten Fassung vom September 1998 verpflichtet den DWD gemäß § 4, Absatz (1) unter anderem zur „Herausgabe von Warnungen über Wettererscheinungen, die zu einer Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung führen können“. Der DWD verfügt daher über ein Stations- und Messnetz zur Wetterbeobachtung, führt vertikale Sondierungen in der Atmosphäre durch (Aerologische Aufstiege), ist in das internationale meteorologische Daten-Austauschnetz eingebunden und verfügt über eine leistungsstarke technische Infrastruktur, moderne numerische Vorhersagemodelle und über trainiertes Personal zur Umsetzung dieser Aufgaben.

Ein permanentes Wettermonitoring über dem Nordatlantik, Europa und den Anrainergebieten ist die Voraussetzung, Sturmentwicklungen rechtzeitig zu erfassen. Diese Daten gehen auch als Initialisierung für die numerischen Modellrechnungen ein und werden mit aktuellen Satelliten- und Radardaten ergänzt. Die Vorhersageergebnisse stehen in verschiedenen Darstellungen zur Verfügung, darunter auch kolorierte Flächen mit der Windgeschwindigkeit bzw. Böigkeit (Abb. 8.1).

Nach Bewertung solcher numerischer Vorhersage

erstellt der Warndienst ggf. Sturm- oder Orkanwarnungen (Abb. 8.2). Es wird der Seebereich vom Landbereich unterschieden, da über See andere Bodenreibungsverhältnisse herrschen und neben den Windverhältnissen auch Seegang und andere Parameter berücksichtigt werden.



Abb. 8.2: Seewetterwarnungen

Die Seewetterwarnungen werden an verschiedene Nutzer versandt und stehen allen kostenfrei im Internet zur Verfügung. Sie sind die Basis der Beratungen zwischen dem Seewetteramt und dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. Die Warnungen für den Landbereich werden ebenfalls vom Seewetteramt herausgegeben und sind u. a. im Internet abrufbar (Abb. 8.3).

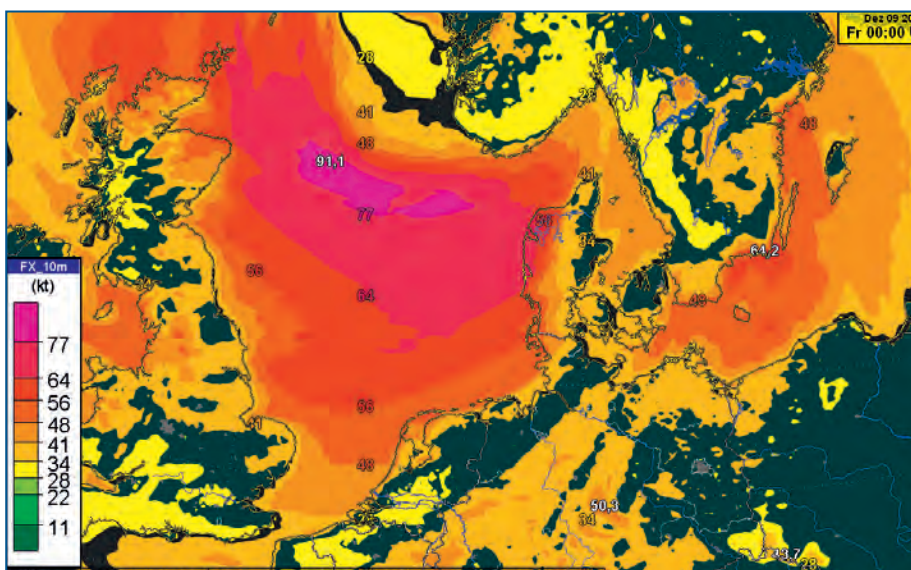


Abb. 8.1: Böenvorhersage für die mittlere Nordsee und die Deutsche Bucht

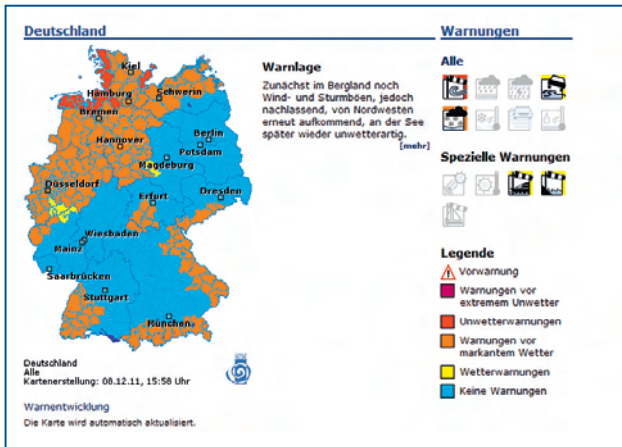


Abb. 8.3: Warnkarte DWD

Die Zuordnung von Windstärke zu Windgeschwindigkeit wird ebenfalls im Internet angeboten und ist im Anhang dargestellt.

Mit dem BSH und anderen behördlichen Nutzern steht der DWD/Seewetteramt in engem Kontakt. Diese Nutzer erhalten zwar auch die Warnungen, werden aber noch differenziert informiert. So gibt es routinemäßig viermal täglich eine Beratung mit dem Wasserstandsvorhersagedienst (Abb. 8.4), aber auch auf Anfrage Beratungen mit Hamburger Behörden, dem Havariekommando und anderen öffentlichen Nutzern.

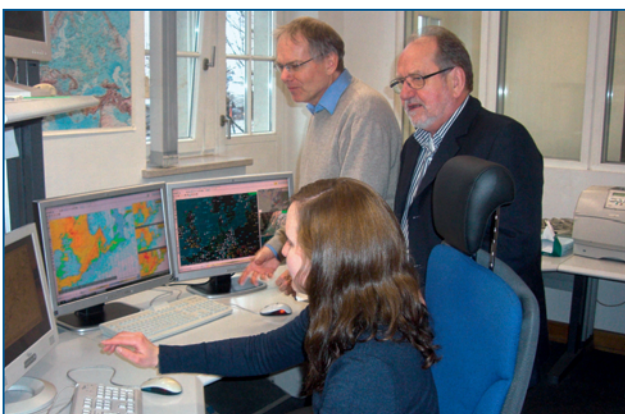


Abb. 8.4: Meteorologische Beratung des Windstudienstes des BSH

8.2 Sturmflutwarnungen für Hamburg

Die Gefahrenabwehr im Katastrophenfall – dazu gehören auch Sturmfluten – ist gemäß Artikeln 30

und 70 des Grundgesetzes Aufgabe der Länder. In Hamburg ist Näheres in der Katastrophenschutzordnung (KatSO) und in der Sturmflutrichtlinie (Stand September 2008) der Behörde für Inneres geregelt.

Die zentrale, einheitliche Lenkung der Abwehrmaßnahmen mehrerer Hamburger Behörden obliegt dem Staatsrat der Behörde für Inneres. Unterstützt wird er bei der Aufgabenwahrnehmung durch den Zentralen Katastrophendienststab (ZKD). Die Behörde für Inneres bzw. der ZKD rufen bei drohender Sturmflut mit Scheitelwerten von mehr als 5,00 m über NN die Wasserstandsstufe 1 bzw. 2, 3 oder 4 aus (Tab. 8.1). Eine der Aufgaben des ZKD ist nun, für Hamburg die Warnungen und Informationen des BSH und des WADI über Rundfunk verbreiten zu lassen. Da sich BSH und WADI bei schweren Sturmfluten über die zu erwartenden Scheitelwasserstände bei ihren Vorhersagen für Hamburg abstimmen, ist für eine einheitliche Information der Bevölkerung gesorgt. In der Sturmflutrichtlinie ist aber auch geregelt, wie zu verfahren ist, wenn die Vorhersagen von BSH und WADI wider Erwarten doch einmal voneinander abweichen sollten. Dann entscheidet nach Abstimmung mit allen Beteiligten der Leiter der Katastrophenabwehr, also der Staatsrat der Behörde für Inneres, von welcher Warnhöhe und Wasserstandsstufe (Tab. 8.1) auszugehen ist. In Abhängigkeit von der ausgerufenen Wasserstandsstufe koordiniert der ZKD in Zusammenarbeit mit den Regionalen Katastrophendienststäben (RKD), das sind die Bezirksämter sowie der Hafenstab (HASTA), die erforderlichen Maßnahmen.

Die örtlichen Gegebenheiten im sturmflutgefährdeten Bereich Hamburgs sind sehr unterschiedlich. Bei der Sturmflutgefahr müssen regionale Vorsorge- und Abwehrmaßnahmen getroffen werden. Besonders ab Stufe 2 sind sehr viele Helfer im Einsatz, wobei die Deichverteidigung einen enormen Aufwand darstellt. Deren Planung und Organisation obliegt dem Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU).

Wasserstandsstufe	Entsprechende Wasserstandsvorhersage für den Pegel St. Pauli	Maßnahmen
0*	3,50 bis 4,50 m über NN	Sperrung sehr niedriger Flächen und Straßen, wie z.B. St.-Pauli-Fischmarkt, Altonaer Elbufer und Strände
0*	4,50 bis 5,00 m über NN	Einsatz WADI, Hafenstab, Beginn von Poldereinsätzen Sperrung von niedrig liegenden Straßen im Hafen
1	5,00 bis 5,50 m über NN	Sperrung von Teilen des Hafens
2	5,50 bis 6,50 m über NN	Einsatz der Katastrophenschutzorganisation, einschl. Deichverteidigung Sperrung der Sperr- und Räumzone I im Hafen
3	6,50 bis 7,30 m über NN	Sperrung des gesamten Hafens, Evakuierung sämtlicher Hafenbewohner
4	mehr als 7,30 m über NN	Sperrung des gesamten Hafens und des möglichen Sturmflutrisikobereichs hinter Deichen sowie Evakuierung der betroffenen Bevölkerung

Tab. 8.1: Wasserstandsstufen (WSSt). * WSSt 0 wird von der Katastrophenschutzbehörde nicht ausgerufen.

8.2.1 Sturmflutwarnungen des BSH

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie verbreitet seine Wasserstandsvorhersagen für die deutsche Nordseeküste (schließt Hamburg ein) regelmäßig über den Rundfunk folgender Sender:

NDR 90,3:

täglich 9:00 und 22:00 Uhr im Anschluss an die Nachrichtensendungen

Deutschlandfunk:

täglich 1:05 Uhr nach dem Seewetterbericht

Radio Schleswig-Holstein:

täglich gegen 8:55 und 21:55 Uhr

Bei der Übermittlung der Warntexte an die Medien bedient sich das BSH der beim DWD vorhandenen informationstechnischen Infrastruktur. Fallen die zu erwartenden Sturmfluthöhen regional sehr unterschiedlich aus, erfolgt im Text eine Gebiets-trennung, bei der ostfriesische Küste, Wesergebiet, Elbegebiet und nordfriesische Küste zu zwei passenden Gruppen zusammengefasst werden (Beispiel 05./06.01.2012):

„Sturmflutwarnung des BSH Hamburg:

Für die deutsche Nordseeküste besteht die Gefahr einer Sturmflut.

In der Nacht von Donnerstag zu Freitag wird das Hochwasser an der ostfriesischen Küste und im Wesergebiet 1,5 Meter höher, im Elbegebiet sowie an der nordfriesischen Küste 1,5 bis 2 Meter höher als das mittlere Hochwasser eintreten.“

Die Rundfunkwarnung erfolgt in aller Regel sehr früh, Sturmflutvorhersagen von mehr als 24 h machen aber keinen Sinn. Da es an einem Tag wegen der halbtägigen Gezeitenform auch 2 Sturmfluten geben kann, und zwischen der Eintrittszeit des Sturmflutscheitels bei Borkum und in Hamburg gut 5,5 Stunden liegen, müssen die Vorhersagetexte so verfasst werden, dass es zu keinen Verwechslungen kommen kann.

Die Wasserstandsvorhersagen werden auch sehr ausführlich für viele Küstenorte im Internet unter www.bsh.de dargestellt. Auf hamburgischem Gebiet werden die Pegelstände bei St. Pauli und Zollenspieker einzeln dargestellt. Es finden sich auch längerfristige Vorhersagen von bis zu 6 Tagen. Es

ist im Sturmflutfall immer auf die viertelstündlich aktualisierten Darstellungen der Kurzfristvorhersagen (0–24 h) zu achten, denn nur dort sind auch die vom diensthabenden Ozeanographen erstellten Vorhersagen zusätzlich eingeblendet (Abb. 8.5). Bei Sturmfluten sind zur Überbrückung von Kapazitätsengpässen weitere Adressen zu erreichen, z. B. www.sturmflutwarnungen.de.

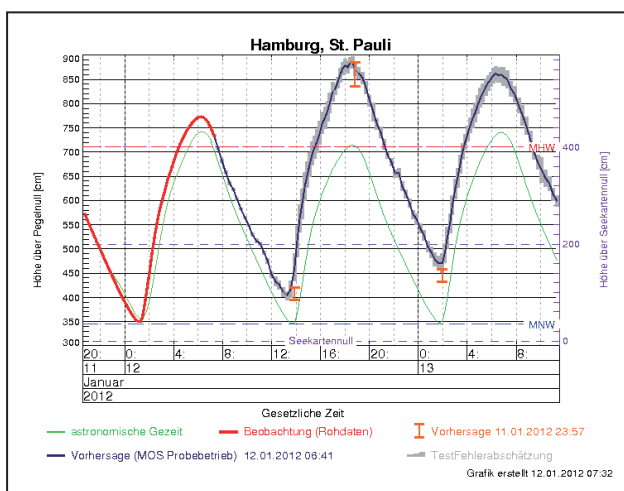


Abb. 8.5: 0- bis 24-h-Vorhersage des Abendhochwassers am 12.01.2012 in Hamburg-St.-Pauli. Rot: Beobachtungen, orange: Scheitelpunktvorhersage des diensthabenden Ozeanographen des BSH (erstellt am 11.01.2012 gegen 23:57), blau und grau: MOS-Kurzfristvorhersage (zuletzt aktualisiert um 6:41).

Eine weitere wichtige Möglichkeit der Information über die Sturmflutentwicklung in Hamburg ist die über Telefon. Der Sturmflutwarndienst des BSH ist rund um die Uhr besetzt und jeder Bürger kann sich unter 040-3190-3190 beraten lassen. Bei Bedarf kann der Anrufer sogar mit demjenigen sprechen, der die Sturmflutvorhersage erarbeitet hat. Dieser Service ist zwar recht aufwendig, wird aber von der Öffentlichkeit sehr gut aufgenommen. Es zeigt sich immer wieder, dass gerade bei Sturmfluten ein enormer Beratungsbedarf gegeben ist. Hier geht es z. B. oft um die in den Warntexten genannten Sturmfluthöhen, die von der Bevölkerung trotz aller Information nicht immer richtig interpretiert werden. Unter der Hamburger Rufnummer 42899-11111 ist ein Sturmflutansagedienst erreichbar, der bei erwarteten Sturmflutscheitelwasserständen von weniger

als 2,5 m über MHW vom BSH besprochen wird, bei höheren Sturmfluten ist der WADI dafür zuständig. Das BSH verbreitet seine Warnungen auch automatisch über telefonisch zugesprochene Standard-Warntexte (z. B. „Nachhochwasser 3 m erhöht“). Diesen Service kann jeder gegen geringe jährliche Gebühren abonnieren. Institutionelle Abonnenten erhalten diese Warnungen kostenfrei. Zu den Empfängern gehört in Hamburg auch die Behörde für Inneres, der WADI, Containerterminals, die Hamburger Stadtentwässerung, die Leitzentrale des Elbtunnels, der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG), Poldergesellschaften, Banken, Kraftwerke, die Fähre Zollenspieker, die DLRG, Hausverwaltungen und viele andere mehr.

Die Vielfalt der Kanäle ist heute sehr viel größer als 1962, und insbesondere das Internet (Abb. 6.4) erlaubt dem Bürger, das Sturmflutgeschehen und die zugehörigen Vorhersagen detailliert zu verfolgen. Vergessen werden darf aber nicht, dass gerade die komplexen Systeme von Strom- und Computernetzen abhängen, und daher letztlich einfache Kommunikationswege, wie Warnungen über Funk und Böllerschüsse im Hafen, unverzichtbar bleiben. Böllerschüsse haben eine lange Tradition und sind insbesondere für die Warnung im Hafengebiet und angrenzenden Wohngebieten wichtig. Acht Stunden vor einer Sturmflut in Hamburg werden durch die Polizei nach Benachrichtigung durch das BSH auf den Abschussbasen Stadtdeich, Hafentor, Maaßenwerder Höft, Teufelsbrück und Ernst-August-Schleuse Hochwassersignalbomben abgefeuert. Zwei schnell nacheinander folgende Böllerschüsse bedeuten, dass ein Wasserstand von mehr als 1,50 m über MHW (3,60 m über NN) erwartet wird.

8.2.2 Einsatz des WADI

Die Einsatzleitung ermittelt in der Regel ca. 11½ Stunden vor dem astronomischen Eintrittszeitpunkt des Hochwassers in Hamburg, ob ein Einsatz erforderlich ist. In dieser Phase wird auch geprüft, ob Wind- und Wasserstandsentwicklung auf eine sehr schwere Sturmflut mit 6,50 m über NN in Hamburg schließen lassen, um so die notwendige

Vorlaufzeit für Evakuierungen und Sicherung von sturmflutgefährdeten Gebieten einhalten zu können. Dazu werden u. a. die Winddaten aus Terschelling betrachtet und auf eine spätere Windentwicklung in der Deutschen Bucht übertragen (Abb. 7.2). Die ersten Berechnungen mit dem WADI-Verfahren beginnen nach dem Niedrigwasser in Cuxhaven – frühestens 9 Stunden vor dem Hochwasser in Hamburg. Danach werden halbstündlich die Berechnungen wiederholt. Die Einsätze enden mit dem Erreichen des Hochwassers in Hamburg (Abb. 8.6).

weiter verbessert werden konnten, kann es nach wie vor zu Situationen kommen, bei denen Stärke, Richtung oder Dauer von Stürmen über der Nordsee nicht ausreichend genau prognostiziert werden können. Der WADI bleibt insofern ein unverzichtbarer Baustein für verlässliche Sturmflutprognosen für Hamburg.

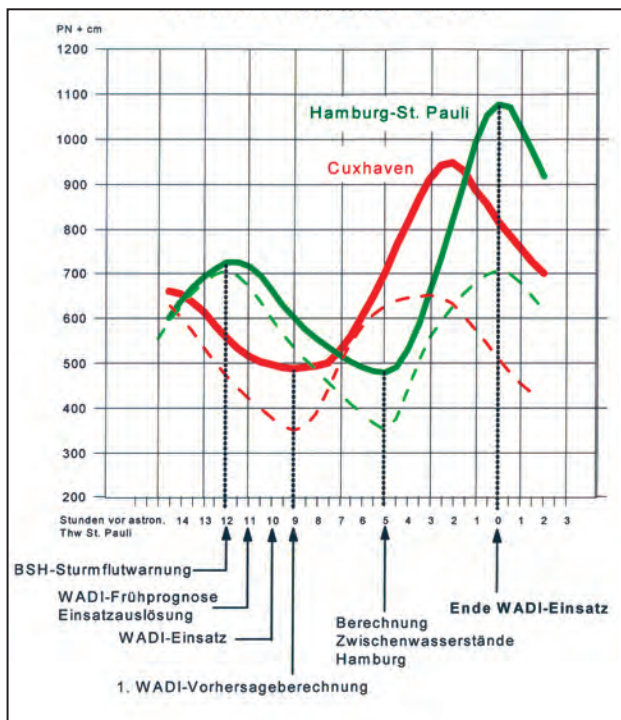


Abb. 8.6: Zeitlicher Ablauf des WADI-Einsatzes. Gestrichelte Linien: mittlere Tidekurven, durchgezogene Linien: Sturmflutganglinien

Das grundlegende Prinzip des WADI-Vorhersageverfahrens, ausschließlich mit gemessenen Werten als Quellinformation zu arbeiten, hat sich bei mittlerweile über 100 Einsätzen in Hamburg sehr bewährt. Es stellt eine gute und sinnvolle Ergänzung zu Sturmflutprognosen anderer Vorhersagedienste dar, die hauptsächlich auf mathematischen Simulationsverfahren beruhen. Denn obwohl Wind- und Wettervorhersagen in der jüngeren Vergangenheit

9 Anhang

Zu den Autoren

Dr. Sylvin H. Müller-Navarra ist in Hamburg aufgewachsen und hat an der Universität Hamburg Ozeanographie studiert, mit den Nebenfächern Geophysik, Meteorologie und theoretische Physik.

Unmittelbar nach dem Abschluss des Studiums im Jahre 1983 hat er im BSH (vormals DHI) begonnen und leitet seit 2005 den Bereich Gezeiten, Wasserstandsvorhersage und Sturmflutwarndienst.

Wolfgang Seifert ist gebürtiger Kieler und in Schleswig aufgewachsen. Er hat bis zum Vordiplom an der Universität Frankfurt am Main Meteorologie studiert. Das Hauptstudium hat er an der Universität Hamburg mit der Diplomprüfung in Meteorologie, Ozeanographie und Physik beendet. Seit 1977 ist er als Meteorologe beim Deutschen Wetterdienst beschäftigt und leitet seit 1985 den Seewetterdienst sowie andere Bereiche der Regionalen Vorhersagezentrale Hamburg.

Dipl.-Ing. Hans-Andreas Lehmann ist in München aufgewachsen, hat in München Bauingenieurwesen studiert, war zwei Jahre in einem Ingenieurbüro beschäftigt, arbeitete von 1993 bis 2005 in der BSU und ist seit dem Wechsel zur HPA Leiter des Hamburger Sturmflutwarndienstes (WADI).

Dipl.-Ing. Sven Maudrich ist gebürtiger Hamburger, hat in Hannover Bauingenieurwesen mit Schwerpunkt Wasserbau studiert und steht seit 1992 in Diensten der HPA. Seit 2001 ist er Einsatzleiter im WADI.

Akronyme

Bft	Beaufort (Windstärke)	LSBG	Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (Hamburg)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie	MHW	Mittleres Hochwasser (weitere Gezeitenbegriffe in Tab. 4.1)
BSU	Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt	MOS	Model Output Statistics (Modellausgabestatistik)
COSMO-EU	Consortium for Small-scale Modeling, Europe [-DE Deutschland]	MSWR	METEO SERVICE weather research GmbH (Berlin)
DHI	Deutsches Hydrographisches Institut (heute: BSH)	NDR	Norddeutscher Rundfunk
DLRG	Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e.V.	NN	Normal Null
DWD	Deutscher Wetterdienst	OPTEL	Operationelles Tideelbemodell
EPS	Ensemble Prediction System	PNP	Pegelnullpunkt
GME	Globalmodell	RKD	Regionaler Katastrophendienststab
HPA	Hamburg Port Authority	SKN	Seekartennull
HASTA	Hafenstab	UTC	Coordinated Universal Time
KatSO	Katastrophenschutzordnung	WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt
		WADI	Hamburger Sturmflutwarndienst

Quellenangaben

- [1] Weikinn, C. (1958) Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850. Hydrographie. Quellensammlung zur Hydrographie und Meteorologie, Band I. Berlin, Akademie-Verlag. 531 S.
- [2] Müller-Navarra, S. H. (2008) Sturmfluten in der Elbe und deren Vorhersage im Wandel der Zeiten. In: Ohlig, C.: Hamburg – die Elbe und das Wasser sowie weitere wasserhistorische Beiträge. Schriften der DWhG 13, 77–95
- [3] Sachverständigenausschuss zur Untersuchung des Ablaufs der Flutkatastrophe (1962) Bericht des vom Senat der Freien und Hansestadt Hamburg berufenen Sachverständigenausschusses zur Untersuchung des Ablaufs der Flutkatastrophe. Hamburg, Lütke & Wulff. 100 S.
- [4] Scherhag, R. (1948) Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin u. a.: Springer. 424 S.
- [5] Müller-Navarra, S. H., I. Bork, J. Jensen, Ch. Koziar, Ch. Mudersbach, A. Müller, E. Rudolph (2006) Modellstudien zur Sturmflut und zum Hamburg-Orkan 1962. Hansa 143, 12/06, 72–88
- [6] Müller-Navarra, S. H. (2009) Über neuere Verfahren der Wasserstands- und Sturmflutvorhersage für die deutsche Nordseeküste. Die Küste 76, 193–203
- [7] Müller-Navarra, S. H., K. Knüppfer (2010) Improvement of water level forecasts for tidal harbours by means of model output statistics (MOS) – Part I (Skew surge forecast). Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie 47, 22 pp.
- [8] Bork, I., S. H. Müller-Navarra (2011) Entwicklung eines operationellen Tideelbmodells auf der Basis des hydrodynamisch-numerischen Modellverfahrens BSHcmod für die Nord- und Ostsee (OPTTEL-A). BSH, 75 S.
- [9] Siefert, W. (1968) Sturmflutvorhersage für den Tidebereich der Elbe aus dem Verlauf der Windstaukurve in Cuxhaven. Mitteilungen des Franzius-Institutes für Grund- und Wasserbau der TU Hannover 30, 1–142
- [10] Siefert, W., H. Christianen (1983) Entwicklung und Stand der Sturmflutvorhersagen des Hamburger Sturmflutwarndienstes. Hamburger Küstenforschung 42, 41–110
- [11] Strotmann, T., C. Radegast, U. Ferk (2011) Studien zur Stauentwicklung in der Tideelbe (OPTTEL-D). Hamburg Port Authority, 117 S.

Abbildungsnachweise

Umschlag großes Bild: HPA, Umschlag kleines Bild: Staatsarchiv Hamburg; 1.1: HPA, 2.1 bis 2.7: BSH, 3.1 bis 3.3: HPA, 4.1 bis 4.2: BSH, 5.1 bis 5.14: DWD, 6.1 bis 6.4: BSH, 6.5: Simon Jandt, 6.6 u. 6.7: BSH, 7.1 u. 7.2: HPA, 8.1 bis 8.4: DWD, 8.5: BSH, 8.6: HPA

Windwarnskala

Beaufortgrad	Bezeichnung	Mittlere Windgeschwindigkeit in ca. 10 m Höhe über offenem, flachem Gelände			Auswirkungen des Windes im Binnenland
		im DWD verwendete Schwellenwerte			
		kt	m/s	km/h	
0	Windstille	< 1	0	0	Rauch steigt senkrecht auf
1	leiser Zug	1 bis 3	1	< 5	Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches
2	leichte Brise	4 bis 6	2 bis 3	5 bis 10	Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich
3	schwache Brise schwacher Wind	7 bis 10	4 bis 5	um 15	Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel
4	mäßige Brise mäßiger Wind	11 bis 15	6 bis 7	20 bis 25	Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier
5	frische Brise frischer Wind	16 bis 21	8 bis 10	30 bis 35	kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf See
6	starker Wind	22 bis 27	11 bis 13	40 bis 45	starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Telegrafentelegraphen pfeifen im Wind
7	steifer Wind	28 bis 33	14 bis 17	50 bis 60	fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich
8	stürmischer Wind	34 bis 40	18 bis 20	65 bis 70	Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	Sturm	41 bis 47	21 bis 24	75 bis 85	Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben abgehoben)
10	schwerer Sturm	48 bis 55	25 bis 28	90 bis 100	Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern
11	orkanartiger Sturm	56 bis 63	29 bis 32	105 bis 115	Wind entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden
12	Orkan	ab 64	ab 33	ab 120	schwere Verwüstungen

Zur Beachtung:

Diese Skala wird für die Windwarnungen des DWD verwendet und ist an die Beaufort-Skala angelehnt.

Aufgrund der Tatsache, dass die Meldungen in m/s erfolgen und sich die Schwellenwerte der Warnungen an den Schwellenwerten der m/s-Skala orientieren, ergeben sich die in der Tabelle aufgeführten Bereiche für km/h und damit geringe Abweichungen zur Beaufort-Skala.

