

# Rekonstruktion der Sturmflutwetterlage vom 13. November 1872

Dipl.-Met. Gudrun Rosenhagen<sup>1</sup>, Dipl.-Ozean. Ingrid Bork<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Deutscher Wetterdienst, Abteilung Seeschifffahrt, e-Mail: [gudrun.rosenhagen@dwd.de](mailto:gudrun.rosenhagen@dwd.de)

<sup>2</sup>Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, e-Mail: [ingrid.bork@bsh.de](mailto:ingrid.bork@bsh.de)

## Kurzfassung

Das Ostseesturmhochwasser vom 13. November 1872 gilt als die schwerste Hochwasserkatastrophe in der westlichen Ostsee. Um mit numerischen Modellen die Auswirkungen auf Wasserstand, Strömung und Seegang, die eine derartige Sturmflutwetterlage heute dort hätte, nachvollziehen zu können und die Mechanismen, die zu dieser extremen Hochwassersituation führten, zu verstehen, werden zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Gitterpunktswerte des Windvektors für den Zeitraum 01. bis 13.11.1872 für den Bereich der Nord- und Ostsee aus Feldern des Luftdruckes in

Meereshöhe abgeschätzt. Eine Simulation der Wasserstände mit diesen Werten ergab gute Übereinstimmung mit den überlieferten Wasserständen.

## 1 Einleitung

Am 13. November 1872 ereignete sich im Bereich der deutschen und dänischen Ostseeküste eine extreme, folgenreiche Sturmflut. Die Wasserstände überstiegen dabei deutlich sämtliche seinerzeit bekannten Werte und auch seitdem sind keine vergleichbaren Sturmfluten in diesem Bereich aufgetreten.

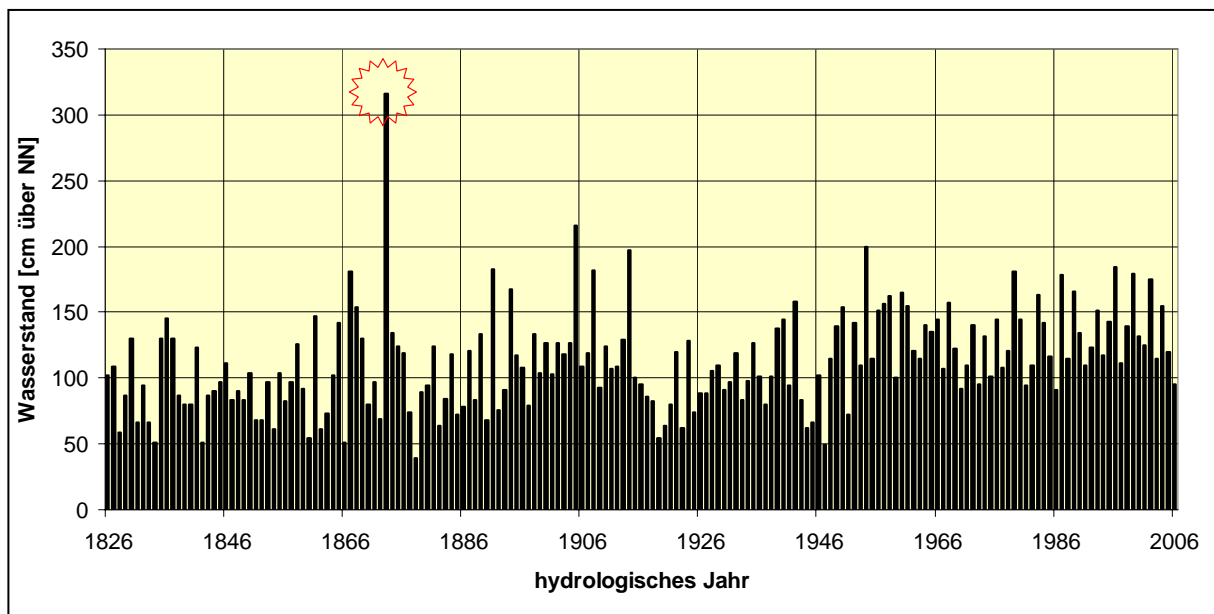


Abbildung 1: **Abbildung 1: Höchststände des Pegels Travemünde zwischen 1826 und 2006**, nach *Jensen, J.; Töppe, A. (1986)* und Wasser- und Schifffahrtsamt Lübeck

In Abbildung 1 sind beispielhaft die Höchststände des Pegels Travemünde zwischen 1826 und 2006 dargestellt. Wegen der Außerordentlichkeit dieses Ereignisses besteht insbesondere in Zusammenhang mit der Bemessung von Küstenschutzanlagen großes Interesse an einer Rekonstruktion dieser besonderen Wettersituation.

## 2 Folgen des Sturmhochwassers am 13. November 1872

Die Ostsee gilt im Vergleich zur Nordsee allgemein als friedlich bezüglich Sturmhochwasserereignissen. So traf es die Küstenbewohner

auch völlig unvorbereitet, als in der Nacht vom 12. zum 13. November 1872 im Bereich der deutschen und dänischen Ostseeküste ein Nordostorkan eine in jener Gegend nie dagewesene Hochwasserkatastrophe auslöste. Mindestens 271 Menschen verloren ihr Leben, mehr als 15 Tausend wurden obdachlos, zehntausende Stück Vieh ertranken, Schiffe kenterten und es gab großflächige Landverluste. (Kieksee, 1872, Petersen und Rohde, 1977). Vielerorts zeugen noch heute in den Küstenorten Hochwassermarken von dem ungewöhnlichen Ausmaß des Ereignisses (s. Abbildungen 2 bis 4).

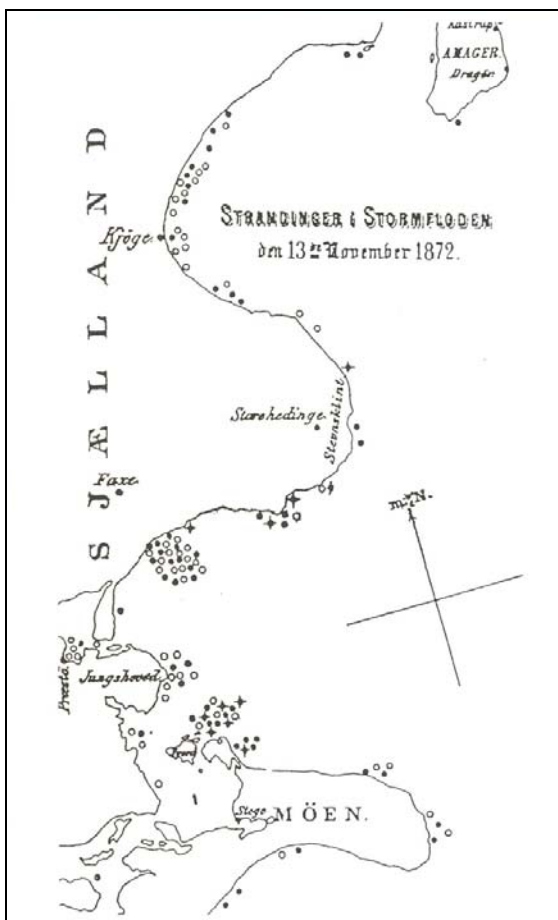


Abbildung 2: Schiffsverluste an den dänischen - Küsten (nach Ejdorf, 2003)



Abbildung 3: Hochwassermarke in Schleswig - (Foto: R. Sedlatschek)



Abbildung 4: Rettungsszene in einer Straße von Flensburg während der Sturmflut am 13.11.1872, *Illustrierte Zeitung* (1872)

### 3 Rekonstruktion der Windfelder

Um mit numerischen Modellen die Auswirkungen auf Wasserstand, Strömung und Seegang, die eine derartige Sturmflut heute im Bereich der westlichen Ostsee hätte, nachvollziehen zu können und die Mechanismen, die zu dieser extremen Hochwassersituation führten, besser zu verstehen werden zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Gitterpunktweite des Windvektors benötigt. Die wenigen, vorhandenen Beobachtungswerte des Windes aus der damaligen Zeit reichen zur Übertragung in die Fläche nicht aus. Zur Simulation mit modernen 3-dimensionalen Atmosphärenmodellen fehlen die nötigen Eingangswerte.

Die Abschätzung der Windverhältnisse erfolgte deshalb aus den Feldern des Luftdruckes in Meereshöhe über den geostrophischen Wind. Der geostrophische Wind ergibt sich aus dem Gleichgewicht der Corioliskraft und der Druckgradientkraft. Er gilt streng genommen nur für geradlinige, d.h. nicht gekrümmte Isobaren und weht parallel zu ihnen. Da die Druckgradientkraft umgekehrt proportional zum Abstand der Isobaren ist, kann aus der Luftdruckverteilung der geostrophische Wind berechnet werden (siehe dazu Alexandersson et al., 1998). Der Einfluss der Reibung an der rauen Erdoberfläche bleibt dabei unberücksichtigt. Aus Werten des geostrophischen Windes lässt sich jedoch für die freie See mit Hilfe empirischer Ansätze der Wind in 10 Meter Höhe über NN abschätzen. Der Vergleich der Ansätze von Duun-Christensen (1975), Hasse (1974), Luthard und Hasse (1981 und 1983) sowie Schmager (1993) zeigten eine große Empfindlichkeit der Umrechnung bezüglich der thermischen Schichtung. Die Verifikation der Ergebnisse, die in Kapitel 6 näher beschrieben ist, ergab für den Ansatz nach Hasse (1974) die besten Ergebnisse. Streng genommen muss zur Umrechnung für jeden einzelnen Gitterpunkt der Abstand zur Küste stromaufwärts sowie die aktuelle thermische Schichtung berücksichtigt werden. Letztere wurde aus den bekannten Lufttemperaturdaten des jeweiligen Termins sowie den klimatologischen Monatsmitteln von Nord- und Ostsee grobgeschätzt. Weht der Wind von Land auf die See, macht sich in Küstennähe zunächst noch die abbremsende Wirkung der rauen Landoberflächen bemerkbar. Zudem bewirkt die größere Rauigkeit eine Zunahme des ageostrophischen Winkels der Windrichtung. Eine Berücksichtigung der Küstendistanz auf die Windgeschwindigkeit der einzelnen Gitter-

punktwerte fand nicht statt. Da zumindest am entscheidenden Hochwassertag vom 13. November 1872 der Wind auf die deutschen Ostseeküsten frei von See aus nordöstlichen Richtungen wehte, ist der Einfluss hier auch nur gering. Der ageostrophische Winkel wurde für den gesamten Zeitraum und alle Seepunkte mit 30 Grad angesetzt.

Die Ursachen für Ostseehochwasser sind sehr komplex. Insbesondere muss zur Simulation die großräumige Windsituation der vorangegangenen Wochen mit berücksichtigt werden. Das Untersuchungsgebiet erstreckte sich deshalb über ganz Nordeuropa vom Nordostatlantik westlich der Britischen Inseln bis zum Baltikum. Der Untersuchungszeitraum reichte vom 01. bis zum 14. November 1872.

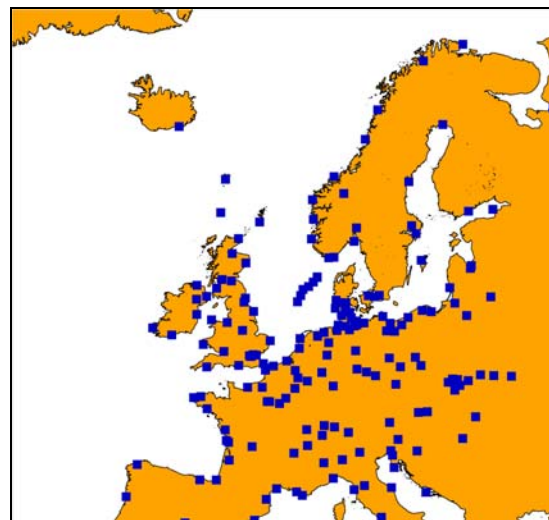


Abbildung 5: Stationen mit verfügbaren Daten

Zur Analyse der Wettersituation wurden von den nationalen meteorologischen Diensten die Luft- und Temperaturdaten aus dem fraglichen Zeitraum angefordert. Es gelang, von mehr als 175 Stationen Messwerte des Luftdrucks und der Temperatur von November 1872 zusammenzutragen (s. Abb. 5).

Die Druckdaten lagen in unterschiedlichen Reduktionszuständen vor und besaßen, wie zu jener Zeit üblich, uneinheitliche Maßeinheiten. Auch die Orts- und Zeitangaben waren oft nicht eindeutig. Deshalb war zunächst eine ausführliche Prüfung und Standardisierung der Daten notwendig.

Auf Grundlage der geprüften Datensätze erfolgte die manuelle synoptische Analyse der Druckfelder für je 3 Termine täglich im Zeitraum 1. bis 11. November und für je 6 Termine am 12. und 13. November. Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Wetterkarte für den

13.11.1872, 14 Uhr. Die analysierten Isobaren wurden digitalisiert, Gitterpunktwerte des Luftdrucks berechnet und aus diesen Rasterdaten der geostrophische Wind mit einer Maschenweite von 0,5 Grad geographischer Breite und 0,5 Grad geographischer Länge bestimmt.

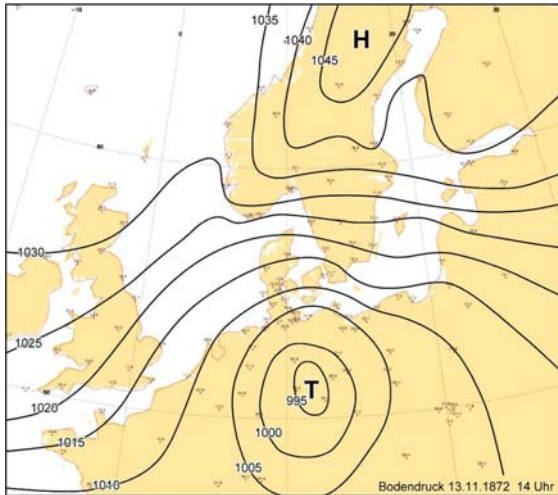


Abbildung 6: Luftdruckanalyse vom 13.11.1872, 14 Uhr

#### 4 Simulation des Wasserstands

Die Simulation des Wasserstandes erfolgte mit den operationellen Modellen des BSH (siehe dazu Müller-Navarra und Bork, 2008). Dabei werden die Einflüsse von Nordostatlantik und Nordsee auf den Wasserstand berücksichtigt. An der Meeresoberfläche wird der Impulseintrag durch eine Parametrisierung der Windschubspannung gegeben. Der dabei auftretende Koeffizient wird dabei für Windgeschwindigkeiten über 30 m/s konstant gehalten. Meteorologische Grundlage zur Berechnung des Windschubs waren die Windrasterwerte, die sich aus den oben beschriebenen Berechnungen ergaben. Für den offenen Rand der Nordsee berechnet ein barotropes Modell des Nordostatlantik Wasserstandsänderungen auf Grund von Fernwellen. Da das Analysegebiet hierzu nicht ausreicht, wurde aus den Tagesmittelwerten des Luftdrucks, die aus dem EU-Projekt EMULATE (European and North Atlantic daily to MULTidecadal climATE variability) für ein Gitternetz von 5 Grad x 5 Grad vorliegen, siehe hierzu Ansell et al. (2006), die Windwerte nach dem im Kapitel 4 beschriebenen Verfahren berechnet.

Numerisch basiert das Modellsystem auf finiten Differenzen mit horizontal zeitlich und räumlich konstantem Gitterabstand von 900 m in der Deutschen Bucht und westlichen Ostsee und 5 km im Bereich der restlichen Nord- und Ostsee. Abweichend vom operationellen Betrieb wurden Temperatur und Salzgehalt mit klimatologischen Monatsmittelwerten initialisiert. Als Abflussdaten wurden ebenfalls zeitlich konstante klimatologische Werte vorgegeben. Der Anfangswasserstand wurde nach Modelldaten an den Tagesmittelwert in Landsort gekoppelt. Für 1872 wurde der Tagesmittelwert des Pegels in Landsort als Null angesetzt.

#### 5 Verifikation

Die Verifikation der berechneten Windwerte erfolgte einerseits direkt im Vergleich zwischen den zur Verfügung stehenden Aufzeichnungen von Windstärke und Windrichtung der Ostseeküstenstationen und dem nächstgelegenen Seepunkt des Windrasterdatensatzes andererseits über die Windwirkung auf den Wasserstand. Hierfür wurden die Ergebnisse der in Kapitel 5 beschriebenen Simulationen des Wasserstands, bei denen die berechneten Windwerten als Antrieb dienten, mit den beobachteten Pegelständen verglichen. Beide Vergleiche waren nicht unproblematisch.

##### 5.1 Windvergleich

Die Windbeobachtungswerte der Küstenstationen wurden der Veröffentlichung von Baensch (1875) entnommen. Die Windstärken sind hier in einer 5-stufigen Skala angegeben. Eine Zuordnung zu Windgeschwindigkeitsklassen konnte nur grob abgeschätzt werden. Als Näherungswerte wurden die in Tabelle 1 angegebenen Werte verwendet.

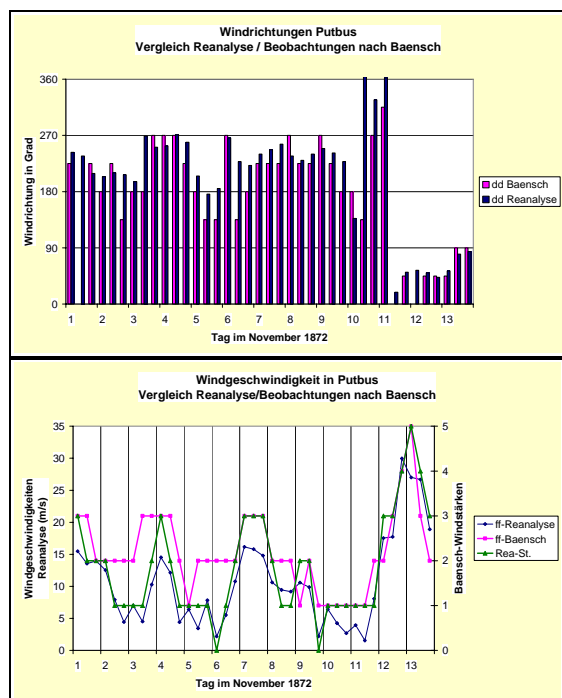
Tabelle 1: Windklassen nach Baensch (1875) und verwendete Umrechnung

Windklassen n. Baensch	Umrechnung	
windstill	0	0-2 m/s
windig	1	3-9 m/s
starker Wind	2	10-14 m/s
stürmisch	3	15-20 m/s
Sturm	4	21-28 m/s
starker Sturm	5	>29 m/s

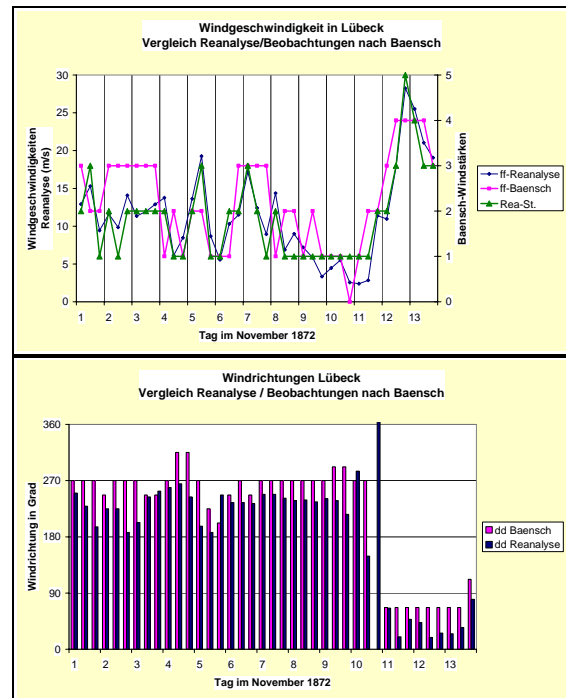
Grundsätzlich sind zwischen Windbeobachtungen an Küstenstationen und berechneten Werten für nahe gelegene Seepunkte Abweichungen zu erwarten.

Bei der manuellen Luftdruckanalyse bestanden trotz der relativ guten Datengrundlage Freiheiten der Interpretation im Detail. Sehr sensible Reaktionen zeigten sich bezüglich der Umrechnungsmethoden zwischen geostrophischem und wahren Wind. Insbesondere die Veränderungen der thermischen Stabilität ergaben deutlich unterschiedliche Ergebnisse.

In Abbildung 7 und 8 sind beispielhaft die Vergleiche für die Stationen Lübeck und Putbus dargestellt. Sie zeigen die Werte für die Stationen nach *Baensch (1875)* sowie die für den jeweils nächstgelegenen Gitterpunkt auf See berechneten Werte im Zeitraum 1. bis 13.11.1872. Um bei der Windstärke einen Vergleich zu den berechneten Windgeschwindigkeiten (in m/s) zu ermöglichen, wurden diese zusätzlich nach Tabelle 1 in Stärken umgerechnet. Es zeigt sich sowohl für die Windstärken als auch für die Windrichtungen sehr gute Übereinstimmung.



**Abbildung 7:** Lübeck Windwerte nach Baensch (1875) und für den nächstgelegenen Reanalyse-Punkt. Oben: 5-stufige Windstärken (fette Linien, rechte Ordinate), Windgeschwindigkeiten in m/s (dünne Linie, linke Ordinate) Unten: Windrichtung



**Abbildung 8:** Vergleiche für Putbus analog zu - Abbildung 7

### 5.2 Pegelvergleich

Auch bei den überlieferten Pegelangaben, die ebenfalls der Veröffentlichung von Baensch (1875) entnommen und nach Mudersbach (2008) korrigiert wurden, wobei die Korrektur gegen Osten unsicher wird. Die Daten von Baensch wurden für den Vergleich ausgewählt, weil nur diese als einzige in Tabellenform mit genauen Zeitangaben vorliegen. Zudem erforderte die geringe zeitliche Auflösung der Winddatensätze von 3 bis maximal 6 Terminen pro Tag Interpolationen. Schließlich sind schon auf Grund der seit 1872 geänderten Topographie der Ostsee, und dies insbesondere in Pegelnähe, Abweichungen zu erwarten.

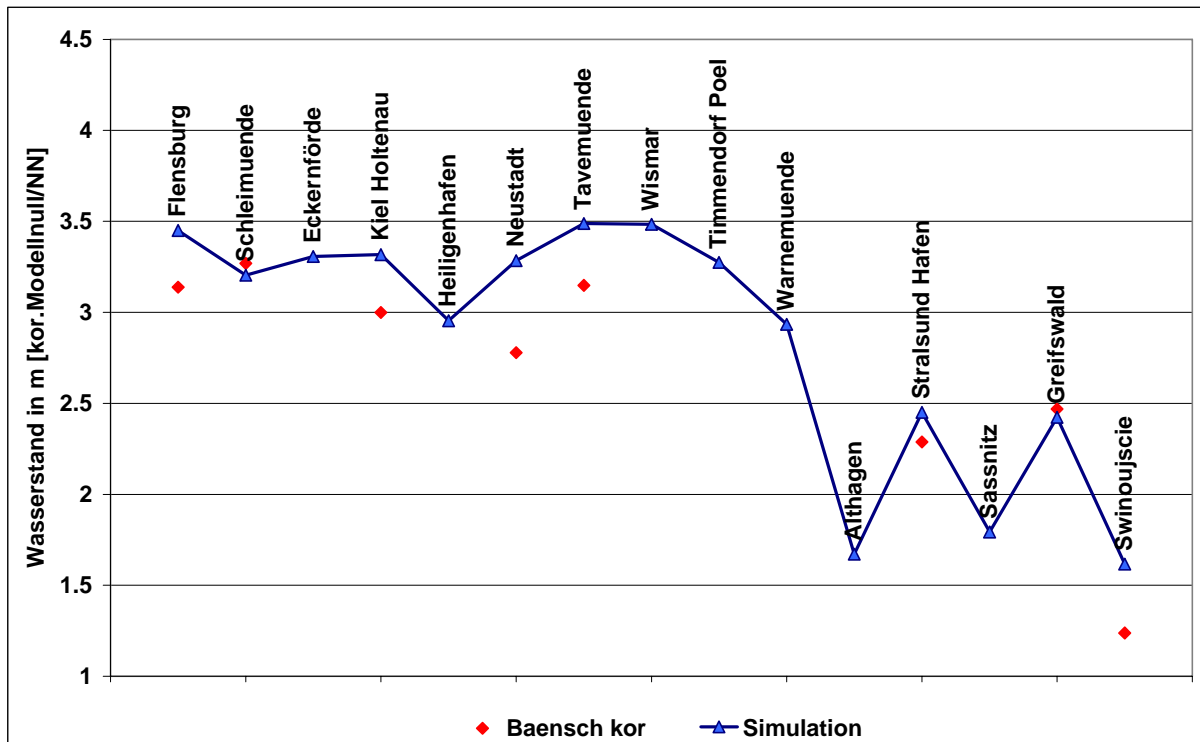


Abbildung 9: Maximale Wasserstände am 13.11.1872 an verschiedenen Pegeln der deutschen Ostseeküste nach Baensch (1875), korrigiert nach Mudersbach (2008) sowie Simulationsergebnisse

## 6 Ergebnisse der Wasserstands-simulation

Während Änderungen der Windfelder zwischen 1. und 11. 11.1872, dem Zeitraum der Auffüllung der Ostsee, die Wasserstandsrechnungen kaum veränderten, zeigten solche am 12. und 13.11.1872 starke Wirkung auf den Wasserstand..

Durch mehrfache Variation der Umrechnungsfaktoren und der Luftdruckanalysen ergab sich schließlich ein Winddatensatz für den Gesamtzeitraum, der sowohl im direkten Windvergleich als auch im Vergleich der simulierten und überlieferten Pegelstände sowohl bezüglich des Wasserhöchststandes als auch des zeitlichen Verlaufs insgesamt gute Übereinstimmung aufwies.

Abbildung 9 zeigt einen Vergleich der maximalen Wasserstände der letzten Simulation und Werten von Baensch (1875) korrigiert nach Mudersbach (2008) für den 13.11.1872. Mit Abweichungen von weniger als 10 % sind die Pegelhöchststände mit den Simulationen gut getroffen. Lediglich Neustadt und Swinoujscie weisen etwas höhere Abweichungen auf.

Die Darstellungen der zeitlichen Verläufe der Pegelstände im Zeitraum 1. bis 20.11 1872, in Abbildung 10 und 11 sind beispielhaft Travemuende und Stralsund wiedergegeben, zeigen sehr gute Übereinstimmung zwischen überlieferten Werten und der Simulation, besonders liegen die maximal gemessenen Werte auf der berechneten Kurve.

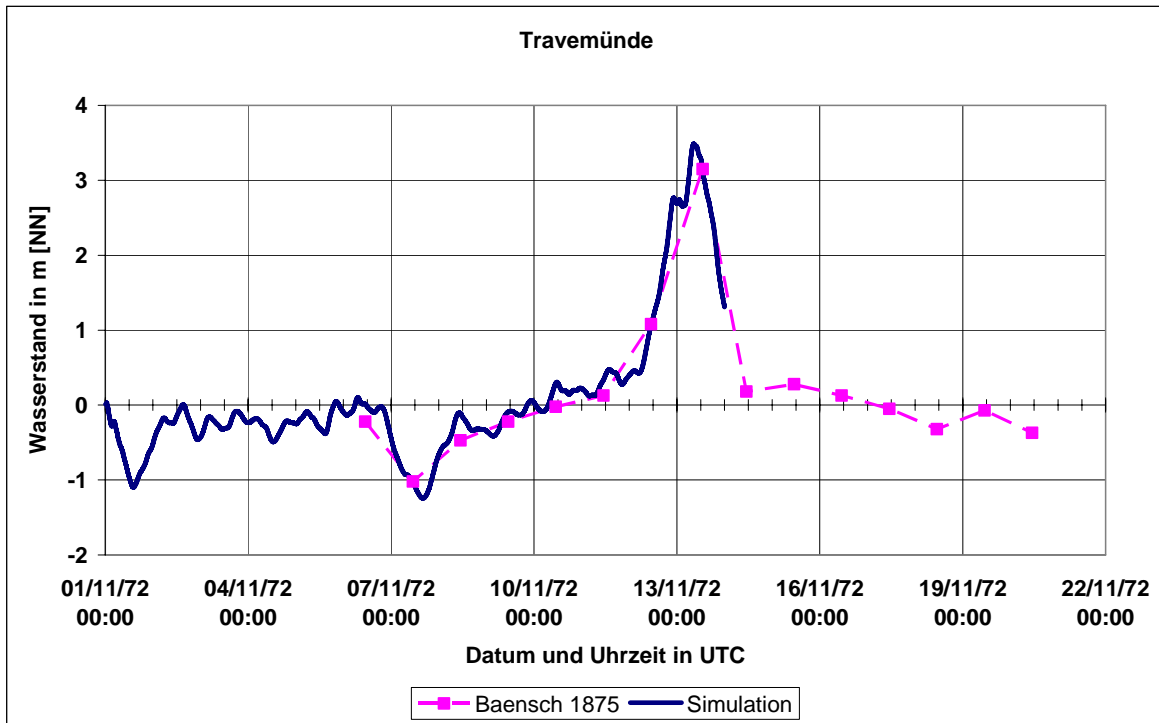


Abbildung 10: Pegelstände in Travemünde zwischen 1. und 20.11.1872 simuliert und nach *Baensch (1875)*

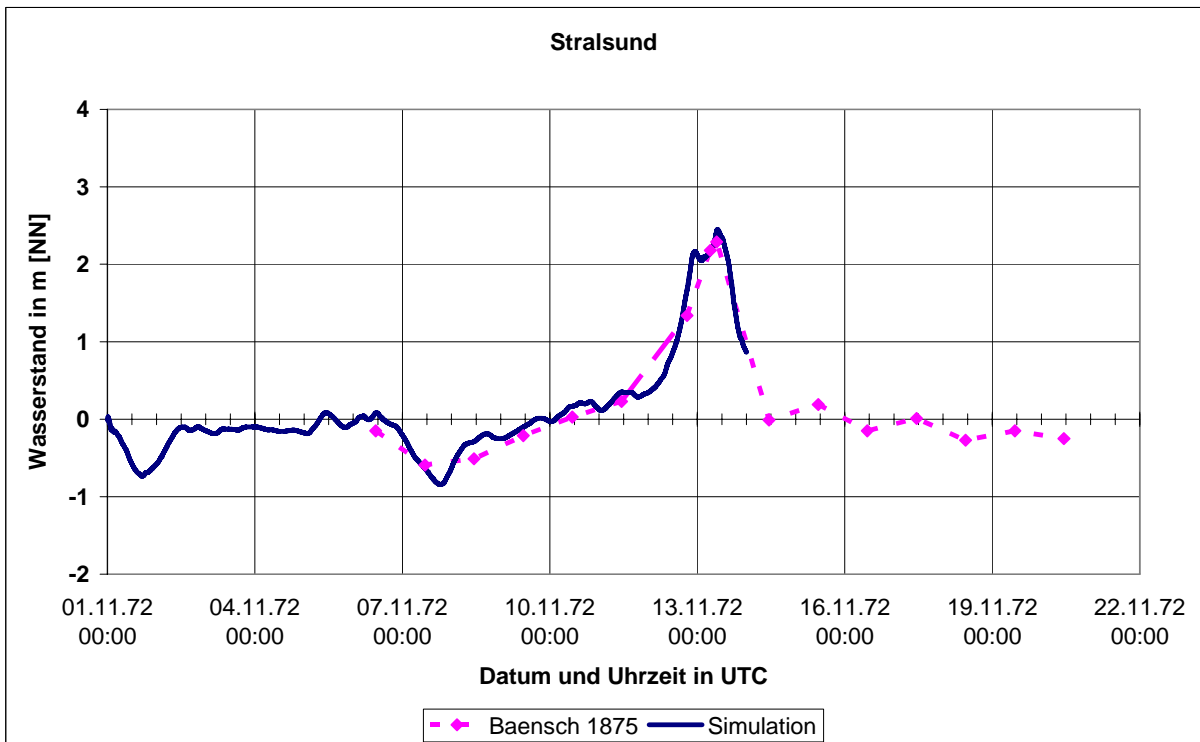


Abbildung 11: Pegelstände in Stralsund zwischen 1. und 20.11.1872 simuliert und nach *Baensch (1875)*

## 7 Wetterlage vom 1. bis 13.11.1872

Die Wettersituation zwischen dem 1. und 13.11.1872 gliedert sich in drei Teilabschnitte:

Vom 1. bis 10.11. bestimmte über einen ungewöhnlich langen Zeitraum tiefer Druck über dem Nordmeer und Skandinavien das Wetter (s. Abb. 12 bis 15) mit vorwiegend westlichen bis südwestlichen und zeitweise stürmischen Winden. So wurde das Wasser über Skagerrak und Kattegat in die Ostsee gepresst. Die Wassermassen wurden dort weiter nach Osten gegen die baltischen und finnischen Küsten gedrückt, wodurch sich eine Schräglage mit hohen Wasserständen in der östlichen Ostsee und geringeren im Westen ausbildete. Dies verstärkte den Zufluss von der Nordsee her weiter, die Ostsee füllte sich auf.

Am 10.11. erfolgte eine Umstellung der Wettersituation (s. Abb. 16): Ein atlantisches Tief zog auf südöstlicher Bahn Richtung Mitteleuropa. In Skandinavien stieg der Luftdruck. Von Westen her setzte über der Ostsee eine vorübergehende Schwachwindperiode ein.

Das Rückströmen des Ostseewassers nach Westen begann.

Die Konstellation mit tiefem Luftdruck über Mitteleuropa und einem Hoch über Skandinavien blieb in den Folgetagen erhalten, wobei sich die beiden Druckgebilde bis zum 13. noch zunehmend intensivierten (s. Abb. 17 bis 18). Damit wehte über der Ostsee ein zunehmender Ost- bis Nordostwind. Der Wassertransport nach Westen setzte sich fort. Die Wasserstände an den deutschen und süddänischen Ostseeküsten stiegen.

Am Morgen des 13.11.1872 bestand über der westlichen Ostsee zwischen einem Tief mit Kerndruck von 990 hPa über der Lausitz und einem Hoch von 1047 hPa über Mittelskandinavien (s. Abb. 19) ein extremer Luftdruckgradient. Der Nordoststurm erreichte Orkanstärke (s. Abb. 20). Mit kräftigem Windstau und hohem Seegang erreichte die Hochwasserkatastrophe ihren Höhepunkt.

Im Laufe des 13.11. ließ der Wind mit abnehmenden Luftdruckgradienten rasch nach und drehte auf östliche Richtung. Die Pegel fielen wieder.

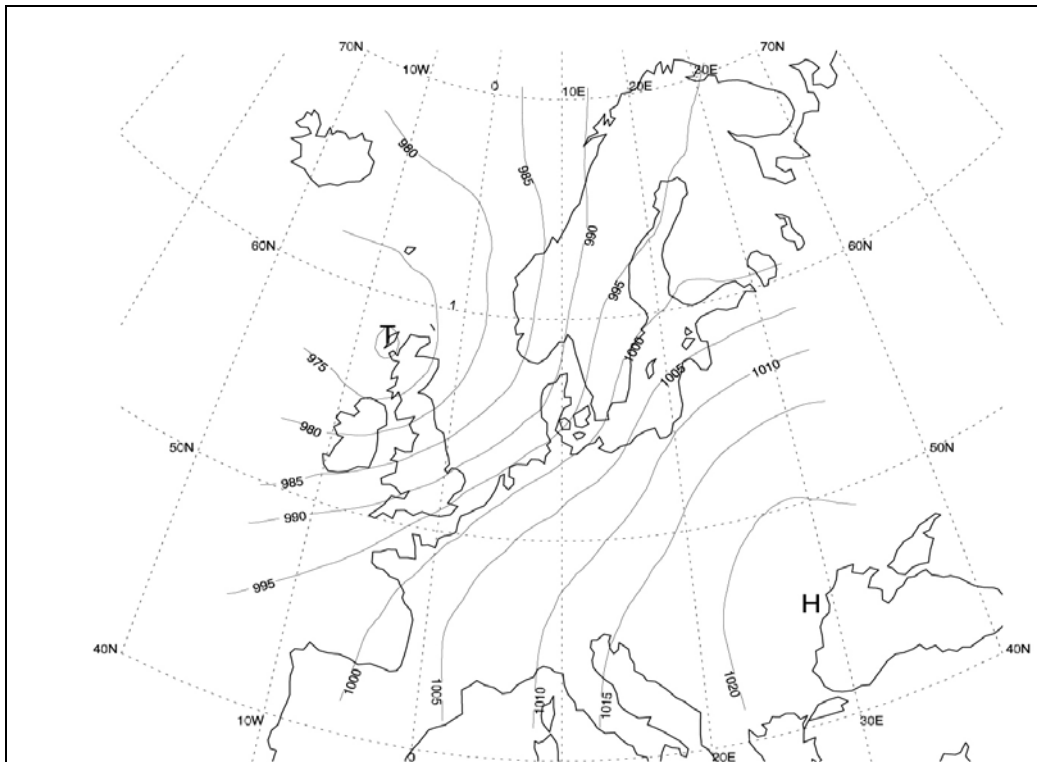


Abbildung 12: Wetterlage am 2.11.1872 6 Uhr



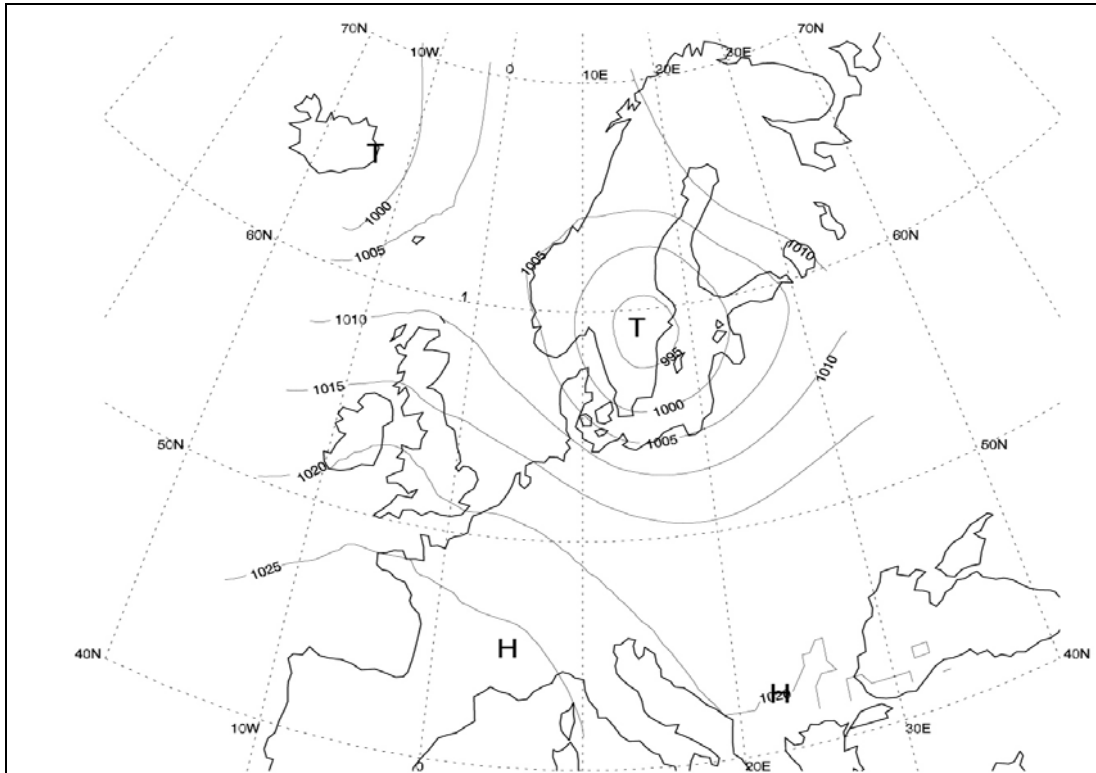


Abbildung 13: Wetterlage am 4.11.1872 6 Uhr

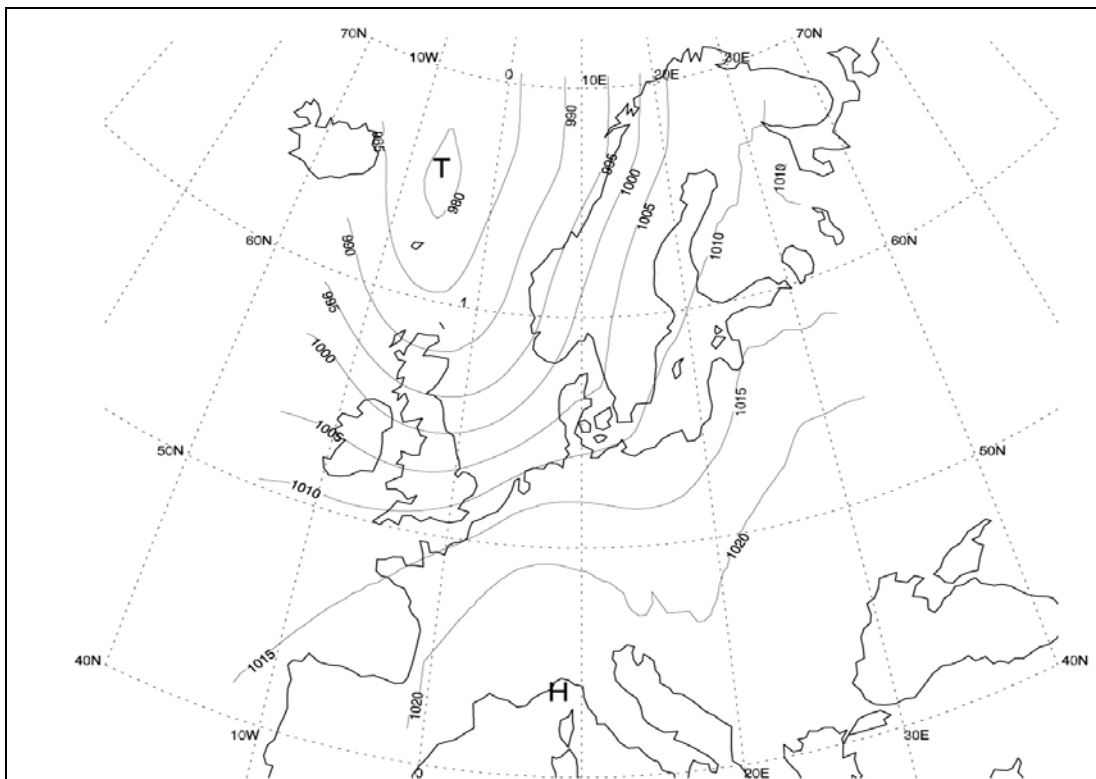


Abbildung 14: Wetterlage am 6.11.1872 6 Uhr

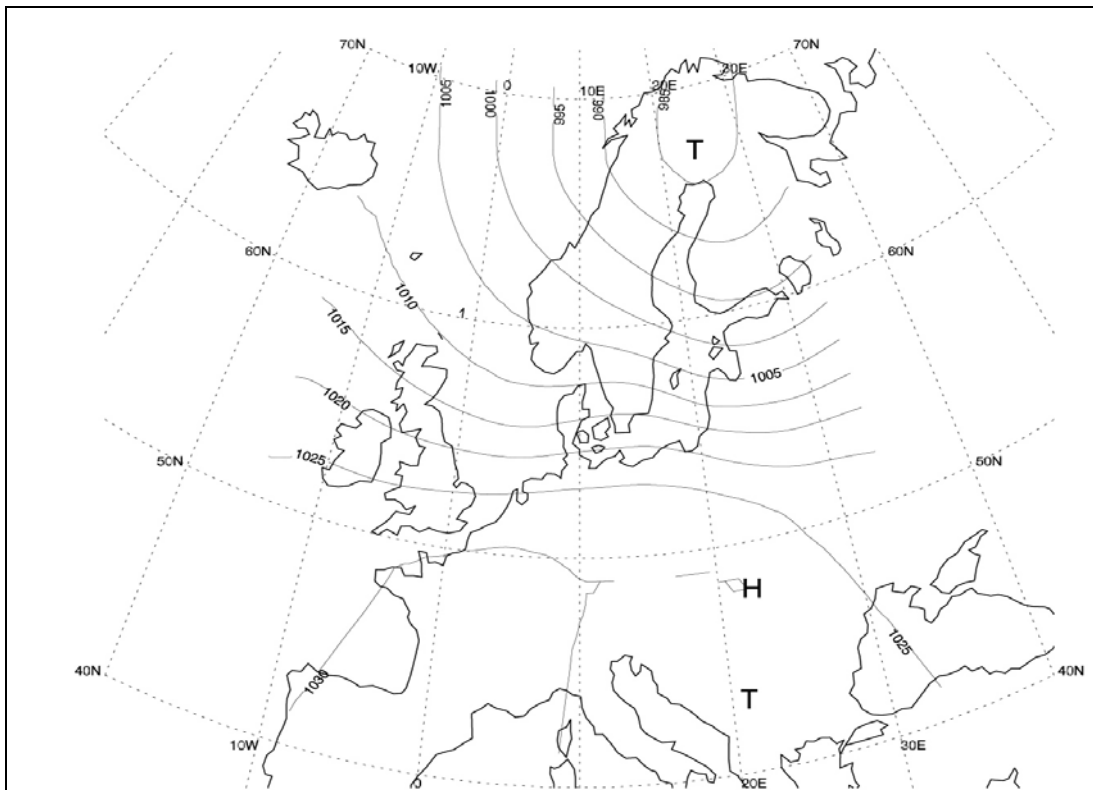


Abbildung 15: Wetterlage am 8.11.1872 6 Uhr

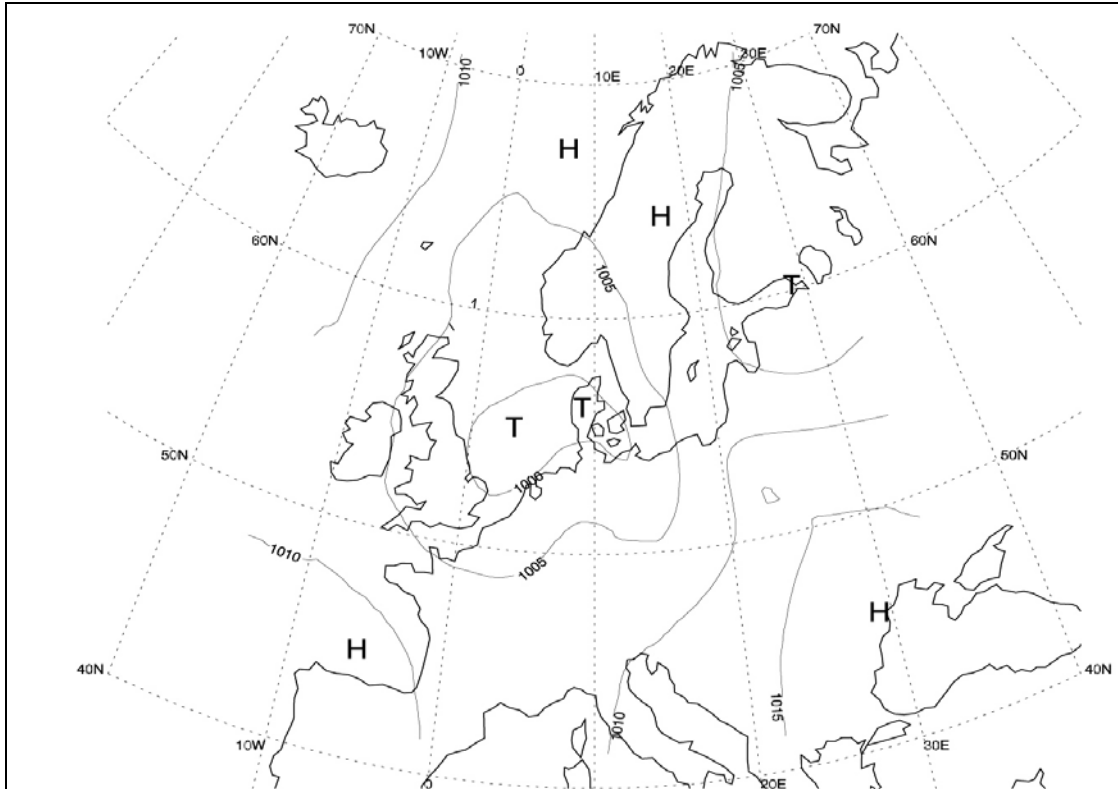


Abbildung 16: Wetterlage am 10.11.1872 6 Uhr

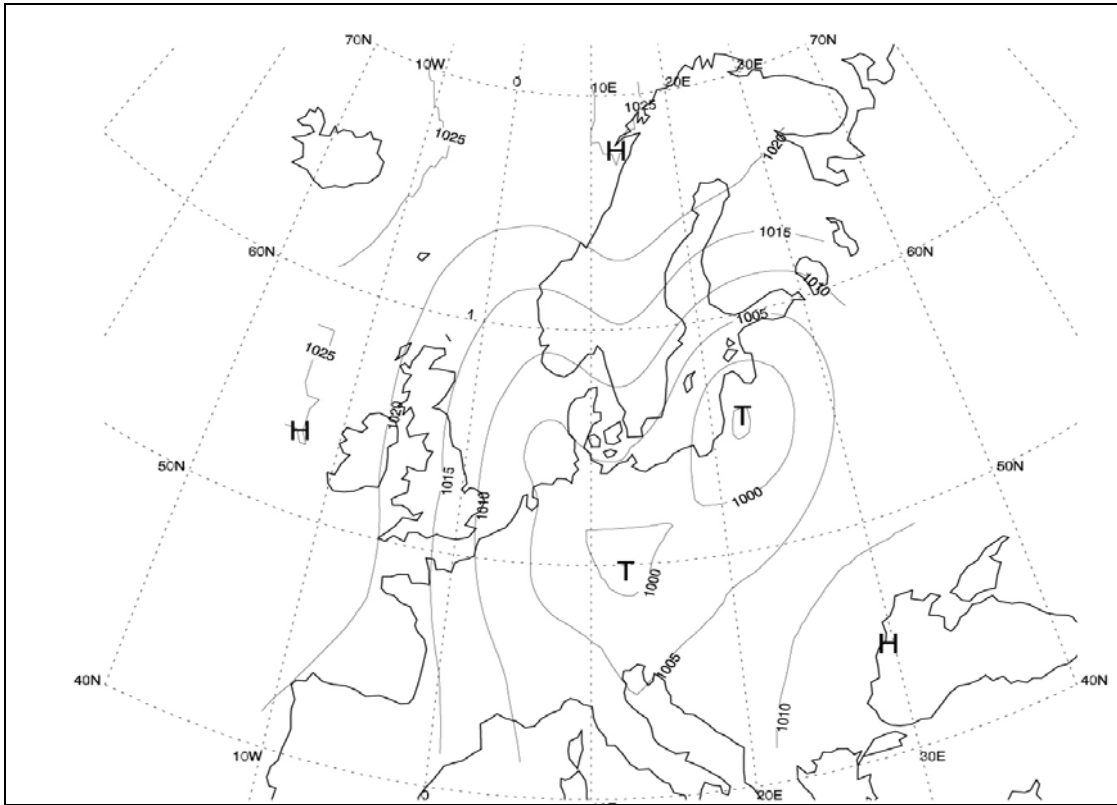


Abbildung 17: Wetterlage am 11.11.1872 6 Uhr

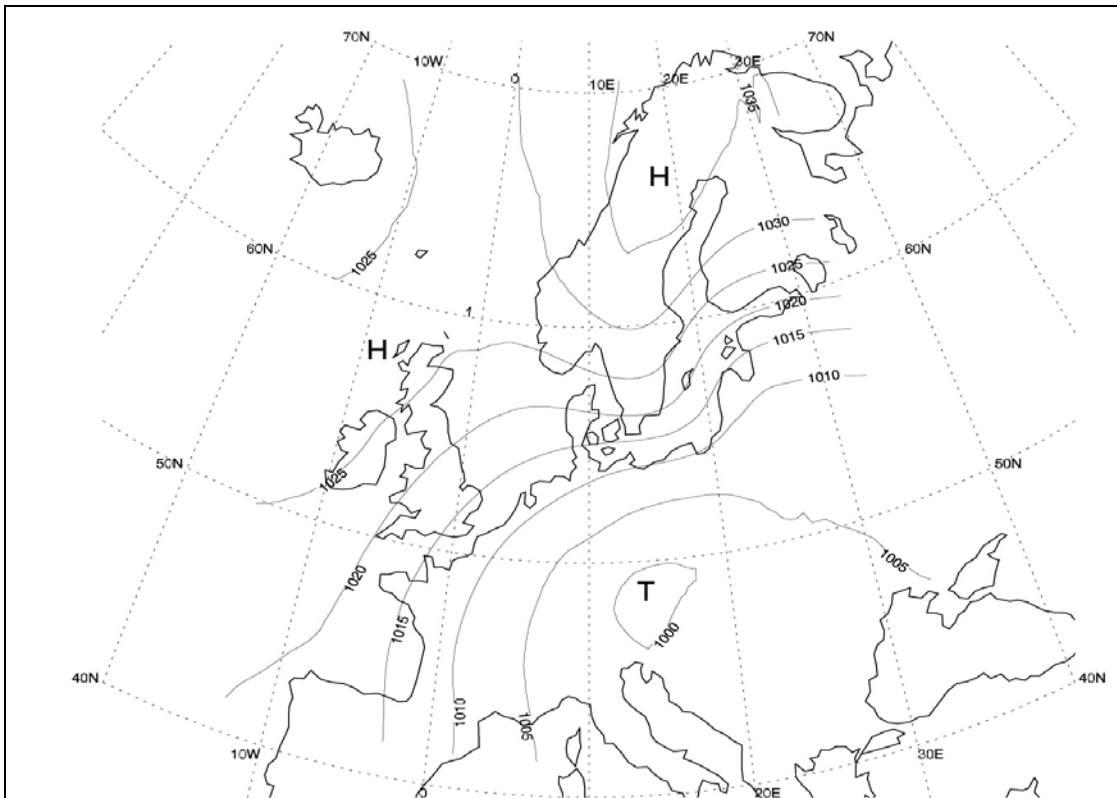


Abbildung 18: Wetterlage am 12.11.1872 6 Uhr

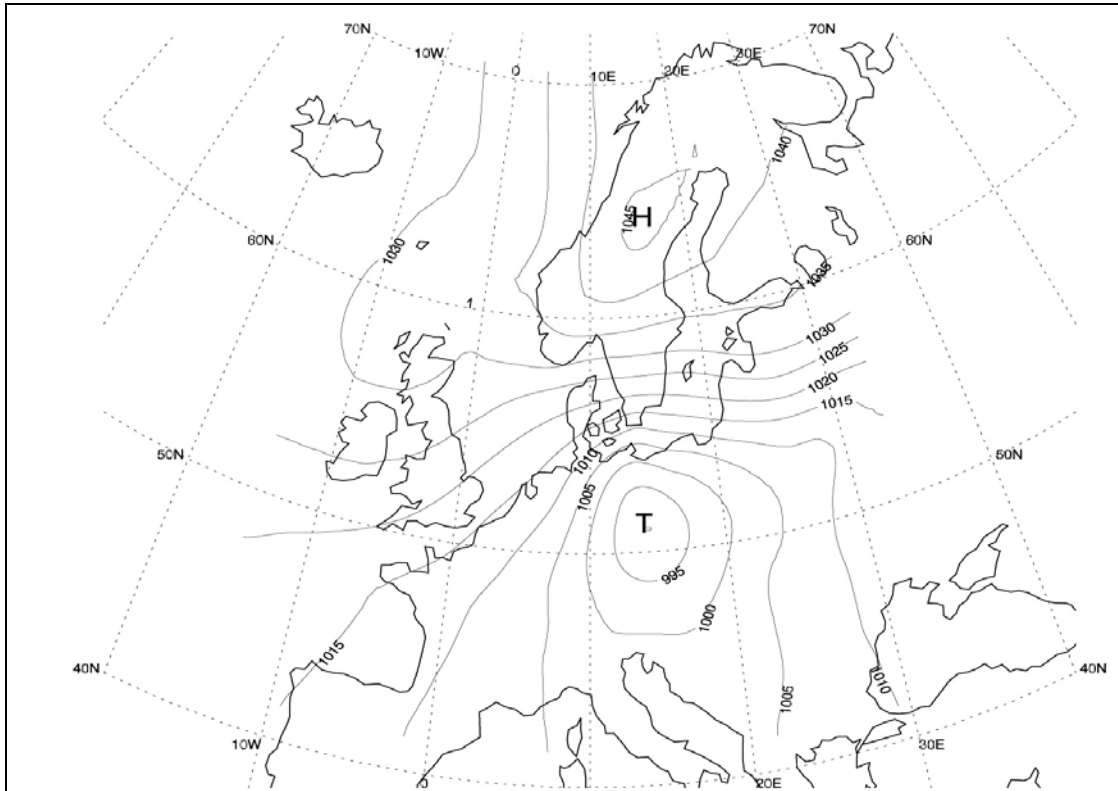


Abbildung 19: Wetterlage am 13.11.1872 6 Uhr

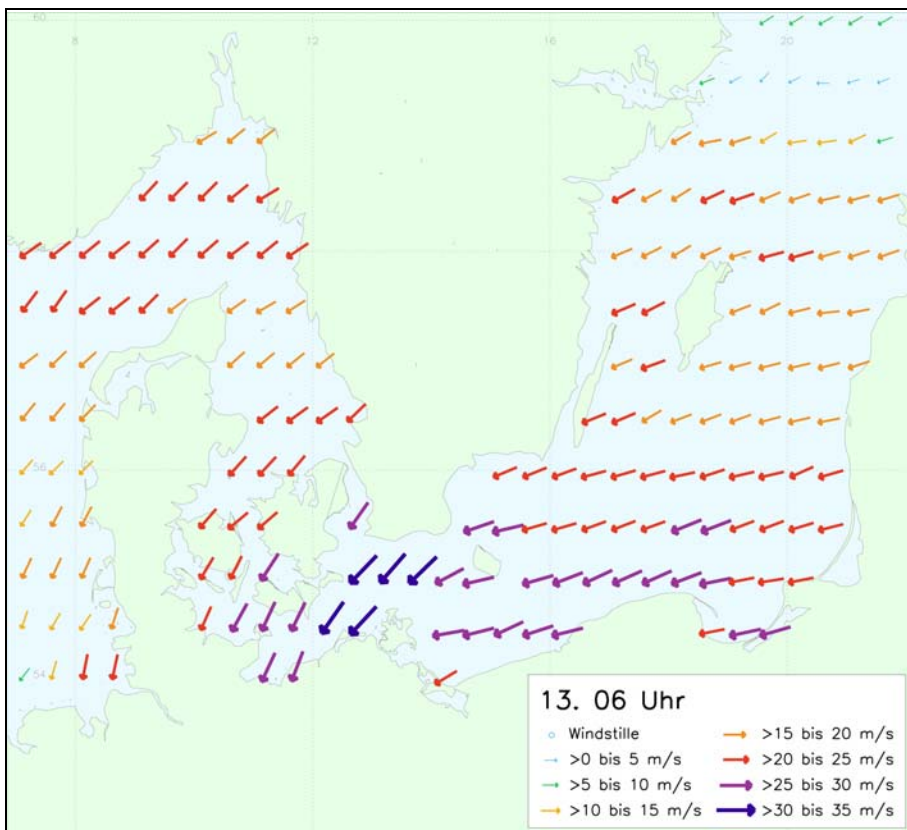


Abbildung 20: Windverhältnisse über der Ostsee am 13.11.1872 um 6 Uhr

## 8 Ausblick

Die Untersuchung hat gezeigt, dass sich das Verfahren der Berechnung von Rasterdatensätzen des Windvektors, wie sie zur Rekonstruktion des Wasserstandes, der Strömung und des Seegang als Antrieb für Simulationsmodelle benötigt werden, sehr gut verwenden lässt. Es bietet damit insbesondere für Untersuchungen historischer Extremereignisse zwischen der Mitte des 19. und des 20. Jahrhunderts, in dem die meteorologische Datenbasis zum Antrieb dreidimensionaler atmosphärischer Modelle noch nicht ausreicht, eine geeignete Möglichkeit zur Erstellung der benötigten großräumigen Rasterdatensätze des Windes.

## Literatur

- Alexandersson H., T. Schmith, K. Iden, H. Tuormenvirta (1998): The Global Atmosphere and Ocean System, Vol. 6, 1998, 97 pp.
- Ansell et al. (2006): Daily Mean Sea Level Pressure Reconstruction for the European-North Atlantic Region for the Period 1850-2003, Journal of Climate, Vol. 19, 2006.
- Baensch, O. (1875): Die Sturmfluth an den Ostsee-Küsten des Preussischen Staates vom 12./13. November 1872, Zeitschrift für Bauwesen, Berlin 1875.
- Colding, A. (1881): Nogle Undersøgelser over Stormen Nord- og Mellem-Europa af 12te -14de November 1872 og over den derved fremkaldte Vandflod i Östersøen, Vidensk. Selsk. Skr. 6, Kopenhagen 1881
- Duun-Christensen, J. T. (1975): The representation of the surface pressure field in a two-dimensional hydrodynamic numerical model for the North Sea, the Skagerrak and the Kattegat, Dt. Hydrogr. Z. 28/3, 97 pp., 1975.
- Ejendorf, K. (2003): Stormfloden den 13. november 1872 - Danmarks største strandingskatastrofe, Skib Forlag, Stenstrup 2003.
- Illustrierte Zeitung Nr. 1537 vom 14.12.1872, Leipzig 1872.
- Hasse, L. (1974): Note on the Surface-to-Geostrophic Wind Relationship from Observations in the German Bight, Boundary-Layer Meteorology 6 (1974), 197 pp.
- Jensen, J., A. Töppe (1986): Zusammenstellung und Auswertungen von Originalaufzeichnungen des Pegels Travemünde/Ostsee ab 1826. DGM, Jahrgang 30, H. 4, 1986.
- Kiecksee, H. (1972): Die Ostseesturmflut 1872 mit einem Beitrag von P. Thran und H. Kruhl. – Schr. des Dt. Schiffahrtsmuseums Bremerhaven, Bd. 2, 1972.
- Luthard, H., L. Hasse (1983): The relationship between pressure field and surface wind in the German Bight area and high wind speeds, North Sea Dynamics, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1983.
- Luthard, H., L. Hasse (1981): On the relationship between surface and geostrophic wind in the German Bight area, Beitr. Phys. Atm. 54, 222 pp.
- Mudersbach, C. (2008): Pers. Mitteilungen Müller-Navarra, H., I. Bork (2008): Sturmflutsimulationen, Tagungsbericht Sturmflutgefährdung der Ostsee – MUSTOK Workshop, Rostock, 2008
- Petersen, M., H. Rohde, (1979): Sturmflut, Karl Wachholtz Verlag, Neumünster 1979.
- Schmager, G.(1993): Das Verhältnis von wahrem zu geostrophischen Wind in der Ostsee, pers. Mitteilung.