

# Rekonstruktion der Sturmflutwetterlage vom 13. November 1872

Von GUDRUN ROSENHAGEN und INGRID BORK

## Z u s a m m e n f a s s u n g

Das Sturmhochwasser vom 13. November 1872 gilt als die schwerste durch Messungen belegte 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 1. bis 13.11.1872 für den Bereich der Nord- und Ostsee aus Feldern des Luftdrucks in Meereshöhe abgeschätzt. Eine Simulation der Wasserstände mit diesen Werten ergab eine gute Übereinstimmung mit den überlieferten Wasserständen.

## S c h l a g w ö r t e r

Ostsee, Sturmflut 1872, Luftdruck, Wind, Meeresspiegel

## S u m m a r y

*On the 13th of November 1872 the most devastating storm surge ever recorded occurred in the western Baltic Sea. To reconstruct with current models the effects, this storm surge event would have on water level, currents and waves nowadays and to better understand such extreme Baltic surge events spatiotemporal high-resolution grid values of the wind vector and the air pressure for the North and Baltic Sea were calculated. A comparison of water levels from observations and simulations forced by these reconstructed values led to good results.*

## K e y w o r d s

Baltic Sea, storm surge 1872, air pressure, wind, sea level

## I n h a l t

1. Einführung . . . . .	52
2. Folgen des Sturmhochwassers am 13. November 1872 . . . . .	52
3. Rekonstruktion der Windfelder . . . . .	54
4. Simulation des Wasserstandes . . . . .	57
5. Verifikation des Windfeldes . . . . .	58
6. Ergebnisse der Wasserstandssimulation . . . . .	59
7. Wetterlage vom 1. bis 13.11.1872 und ihre Wirkung . . . . .	62
8. Ausblick . . . . .	68
9. Danksagung . . . . .	68
10. Schriftenverzeichnis . . . . .	69

## 1. Einführung

Am 13. November 1872 ereignete sich im Bereich der deutschen und dänischen Ostseeküste ein extremes, folgenreiches Sturmhochwasser. Die Wasserstände überstiegen dabei deutlich sämtliche seinerzeit bekannten Werte, und seitdem sind auch keine vergleichbaren Sturmhochwasser in diesem Bereich aufgetreten. In Abb. 1 sind beispielhaft die höchsten Wasserstände des Pegels Travemünde zwischen 1826 und 2006 dargestellt. Wegen der Außergewöhnlichkeit dieses Ereignisses besteht insbesondere in Zusammenhang mit der möglichst sicheren Bemessung von Küstenschutzanlagen großes Interesse an einer Rekonstruktion dieser besonderen Wettersituation. Dies heute umso mehr, da im Rahmen der Klimawandelproblematik die Häufung von Wetterextremen und damit auch von Sturmhochwassern lebhaft diskutiert wird.

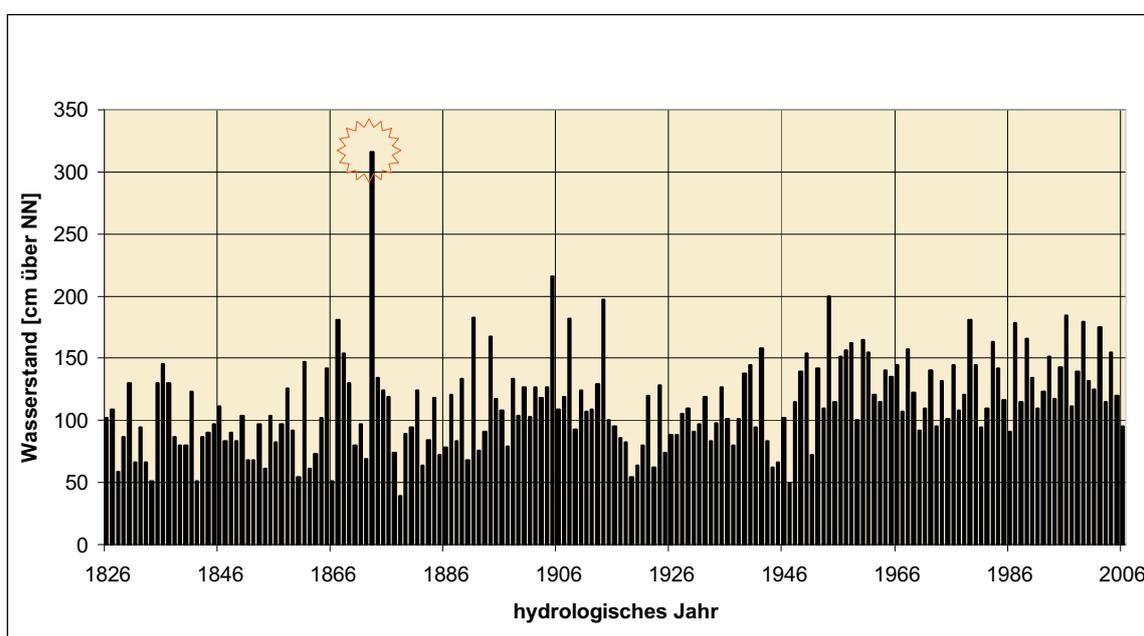


Abb. 1: Höchstwasserstände des Pegels Travemünde zwischen 1826 und 2006, nach JENSEN u. TÖPPE, (1986) und Wasser- und Schifffahrtsamt Lübeck

## 2. Folgen des Sturmhochwassers am 13. November 1872

Die Ostsee gilt im Vergleich zur Nordsee allgemein als weniger bedroht durch Sturmflut- bzw. Sturmhochwasserereignisse. So traf es nach einem nicht ungewöhnlichen Sturmhochwasser am 12.11. die Küstenbewohner auch völlig unvorbereitet, als am frühen Morgen des 13. November 1872 im Bereich der deutschen und dänischen Ostseeküste ein Nordostorkan eine in jener Gegend nie dagewesene Hochwasserkatastrophe auslöste (Abb. 4). Mindestens 271 Menschen verloren ihr Leben, mehr als 15 000 wurden obdachlos, zehntausende Stück Vieh ertranken, Schiffe kenterten (Abb. 2), 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 (Abb. 3).

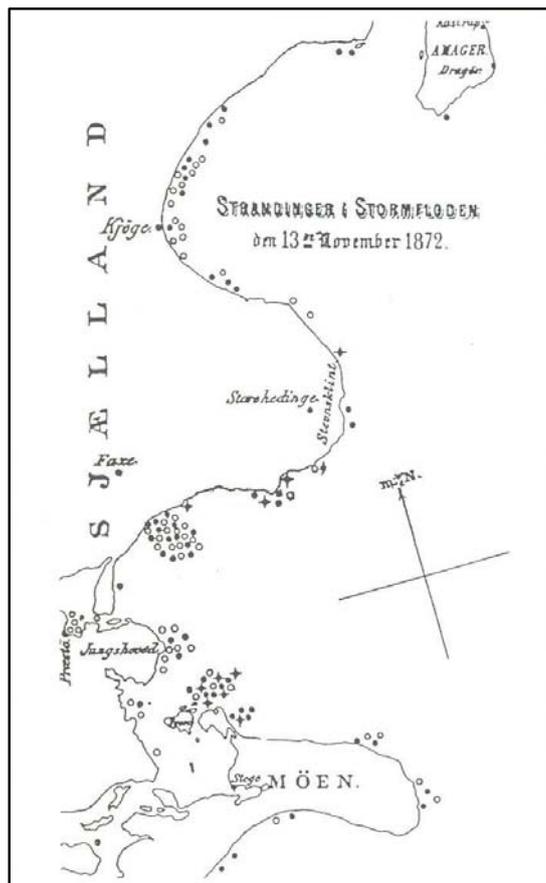


Abb. 2: Strandungen und Schiffsverluste an den dänischen Küsten (nach EJDORF, 2003)



Abb. 3: Hochwassermarke in Schleswig (Foto: R. Sedlatschek)

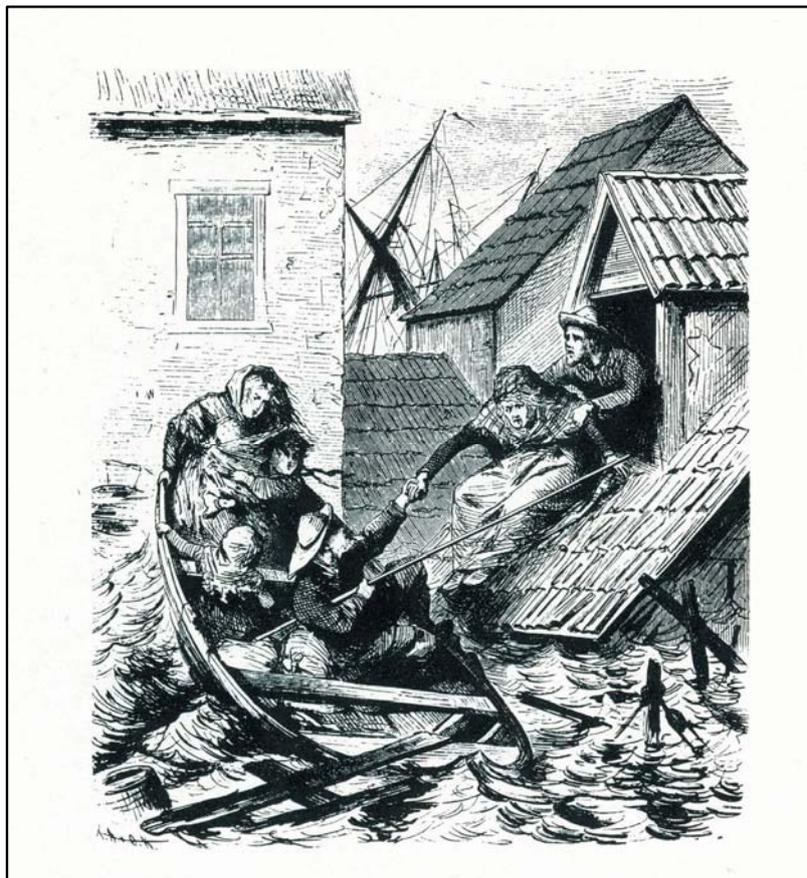


Abb. 4: Rettungsszene in einer Straße Flensburgs während der Sturmflut am 13.11.1872, (ILLUSTRIERTE ZEITUNG, 1872)

### 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 Gitterpunktwerte des Windvektorfeldes benötigt. Die wenigen vorhandenen Beobachtungswerte des Windes aus der damaligen Zeit reichen zur Übertragung in die Fläche nicht aus. Zur Simulation mit modernen dreidimensionalen Atmosphärenmodellen fehlen die nötigen Eingangsdaten.

Die Abschätzung der Windverhältnisse erfolgte deshalb aus den Feldern des Luftdrucks in Meereshöhe über den geostrophischen Wind. Der geostrophische Wind ergibt sich aus dem Gleichgewicht von Corioliskraft und Druckgradientkraft und kann aus der Luftdruckverteilung berechnet werden (siehe dazu ALEXANDERSSON et al., 1998). Der Einfluss der Reibung an der rauhen 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) zeigte eine große Empfindlichkeit der Umrechnung bezüglich der thermischen Schichtung, FOCKEN (2003). Die Verifikation der Ergebnisse, die in Kap. 5 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 entgegen der Windrichtung sowie die aktuelle thermische Schichtung berücksichtigt werden. Letztere wurde aus den bekannten Lufttemperaturdaten des jeweiligen Termins sowie den klimatologischen Monatsmittelwerten der oberflächennahen Temperatur von Nord- und Ostsee (JANSSEN et al., 1999) grob geschätzt. Weht der Wind von Land auf die See (ablandiger Wind), macht sich in Küstennähe zunächst noch die abbremsende Wirkung der rauhen Landoberflächen bemerkbar. Infolge der Reibung durch Meeres- und Landoberfläche weht der Wind nicht isobarenparallel, sondern in einem Winkel zum niedrigen Druck hin. Dieser Winkel wurde hier einheitlich mit 30 Grad angesetzt. Eine Berücksichtigung des Einflusses der Küstendistanz auf die Windgeschwindigkeit der einzelnen Gitterpunktwerte fand nicht statt.

Da in der Literatur (z.B. BAENSCH, 1875; KIECKSEE, 1972) ein Auffüllen der Ostsee durch langanhaltende westliche Winde vor dem Sturmhochwasser als wichtige Ursache für die extremen Wasserstände am 13.11. angeführt werden, wurde die Rekonstruktion auf die großräumige Windsituation der beiden vorangegangenen Wochen ausgedehnt. Das Untersuchungsgebiet erstreckte sich deshalb über ganz Nordeuropa vom Nordostatlantik westlich der Britischen Inseln bis zum Baltikum. Der Untersuchungszeitraum reichte vom 1. bis zum 14. November 1872.

Zur Analyse der Wettersituation wurden von den nationalen meteorologischen Diensten die Luft- und Temperaturdaten aus dem fraglichen Zeitraum angefordert. Es gelang, von mehr als 230 Stationen, davon mehr als 175 mit mindestens 2 Meldungen pro Tag, Daten des Luftdrucks und der Temperatur von November 1872 zusammenzutragen (Abb. 5).

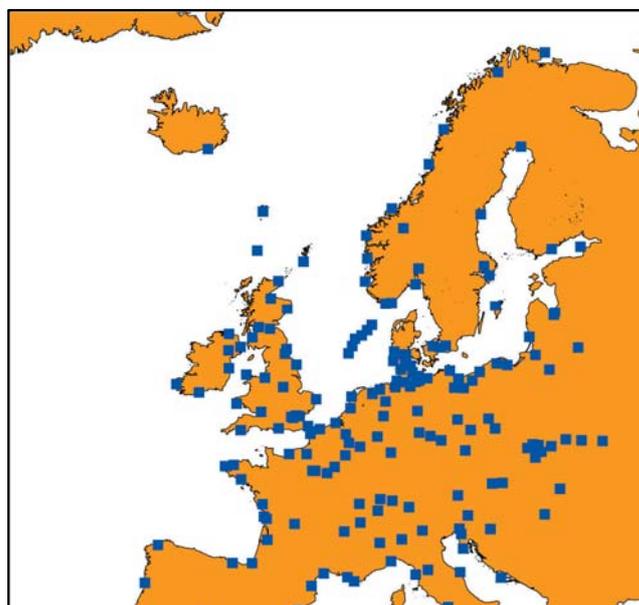


Abb. 5: Stationen mit verfügbaren Daten

Die Luftdruckdaten 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 Luftdruckfelder für je 3 Termine täglich im Zeitraum 1. bis 11. November und für je 6 Ter-

mine am 12. und 13. November. Die analysierten Isobaren wurden digitalisiert und Gitterpunktwerte des Luftdrucks berechnet. Zur Kontrolle wurden diese Daten numerisch interpoliert und als Wetterkarte dargestellt. Abb. 6 zeigt beispielhaft die Wetterkarte für den 13.11.1872, 14 Uhr. Aus den Rasterdaten des Luftdrucks wurde der geostrophische Wind mit einer Maschenweite von 0,5 Grad geographischer Breite und 0,5 Grad geographischer Länge bestimmt.

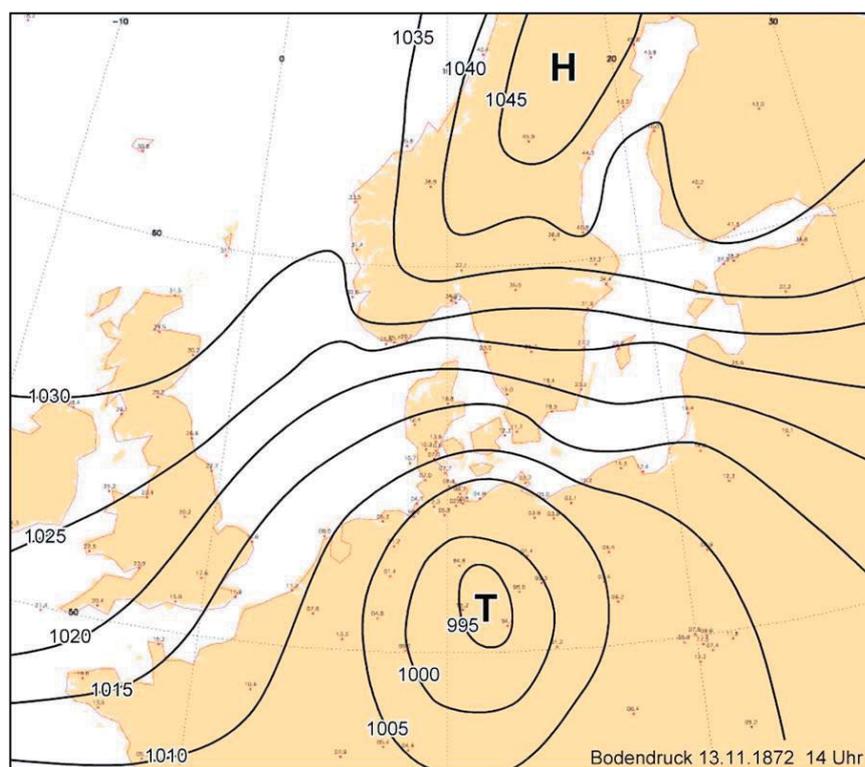


Abb. 6: Luftdruckanalyse vom 13.11.1872, 14 Uhr

Zur Überprüfung der Ergebnisse wurden aus den manuellen Bodenluftdruckanalysen die Windfelder abgeleitet, daraus die Wasserstände berechnet (siehe Kap. 4) und diese mit Pegelaufzeichnungen verglichen. Die ersten selbstregistrierenden Pegel in der Ostsee gab es 1870 in Swinemünde und 1882 in Arkona (BIRR, 2005). Die hier verwendeten Pegelaufzeichnungen für 1872 sind von „Amtspersonen“ vorgenommene Ablesungen an Lattenpegeln, die zum Teil unzureichend befestigt waren. Für den Vergleich bieten sie jedoch eine gute Basis.

#### 4. Simulation des Wasserstandes

Die Simulation des Wasserstandes erfolgte mit den operationellen Modellen des BSH (siehe BORK und MÜLLER-NAVARRA, 2009b). Dabei werden die Einflüsse von Nordostatlantik und Nordsee auf den Wasserstand in der Ostsee berücksichtigt. An der Meeresoberfläche wird der mit der oben erwähnten Reibung verbundene Impulseintrag durch eine Parametrisierung der Windschubspannung gegeben. Der dabei auftretende Koeffizient (SMITH u. BANKE, 1975) wurde dabei für Windgeschwindigkeiten über 30 m/s konstant gehalten. Grundlage zur Berechnung des Windschubs waren die Windrasterwerte, die sich aus den oben beschriebenen Berechnungen ergaben. Für den offenen Rand der Nordsee wurden im Modellsystem des BSH durch ein vereinfachtes (barotropes) Modell des Nordostatlantiks die Wasserstandsänderungen auf Grund von Fernwellen berechnet. Da das Analysegebiet hierzu nicht ausreicht, wurden 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  $\times$  5 Grad vorliegen (ANSELL et al., 2006), die Windwerte nach dem im Kap. 3 beschriebenen Verfahren unter Annahme neutraler Schichtung berechnet.

Numerisch basiert das ozeanographische Modellsystem (DICK et al., 2008) auf finiten Differenzen mit horizontal 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 (JANSSEN et al., 1999). Als Abflussdaten der großen in die Ostsee mündenden Flüsse wurden zeitlich konstante klimatologische Werte vorgegeben. Der An-

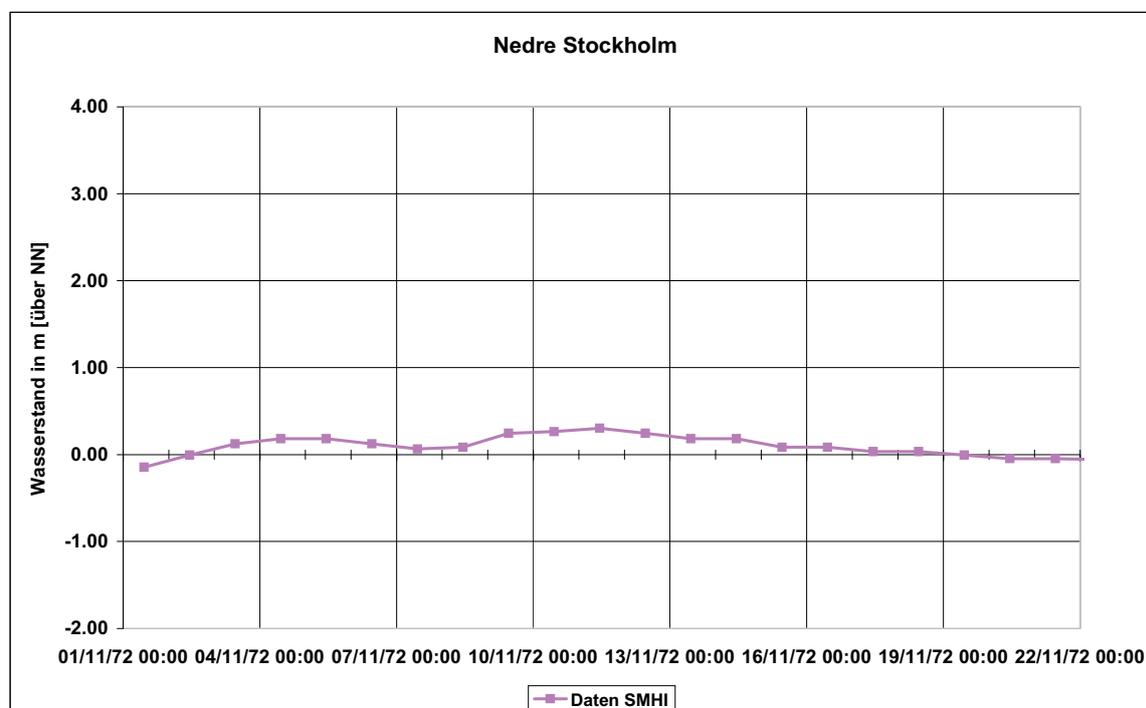


Abb. 7: Pegelstände in Stockholm zwischen 1. und 22.11.1872  
(Swedish Meteorological and Hydrological Institute)

fangswasserstand wurde nach Modelldaten des Jahres 2009 an den Tagesmittelwert in Landsort (südlich von Stockholm) gekoppelt (BORK und MÜLLER-NAVARRA, 2009a). Für 1872 wurde der Tagesmittelwert des Pegels in Landsort am 1.11. als Null angesetzt. Unter Berücksichtigung der Datengenauigkeit ist dies eine sinnvolle Annahme im Vergleich zu den Daten von Stockholm (Abb. 7) und Öland (Abb. 9).

## 5. Verifikation des Windfeldes

Die berechneten Winddatensätze für den 1. bis 13. November (siehe Kap. 3) wurden im Vergleich zwischen den zur Verfügung stehenden Aufzeichnungen von Windstärke und Windrichtung der Ostseeküstenstationen und dem nächstgelegenen Seepunkt des Windrasterdatensatzes verifiziert.

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 Tab. 1 angegebenen Werte verwendet. Die Anzahl der Fähnchen in Abb. 8 gibt die Windklasse nach Tab. 1.

Tab. 1: Windklassen nach BAENSCH (1875) und verwendete Umrechnung

Windklassen n. BAENSCH		Umgerechnete Windklassen
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 Schichtung ergaben deutlich unterschiedliche Ergebnisse.

In Abb. 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 Tab. 1 in Windstärken umgerechnet. Es zeigt sich sowohl für die Windstärken als auch für die Windrichtungen eine sehr gute Übereinstimmung.

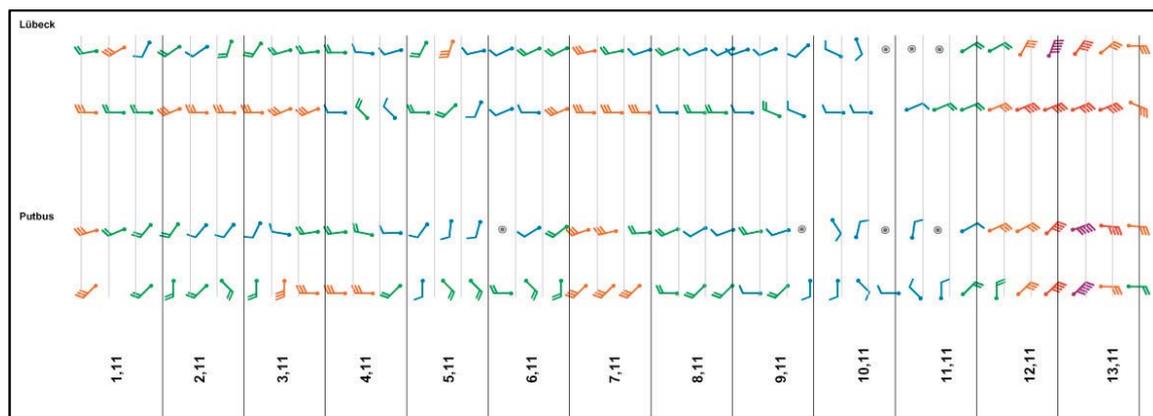


Abb. 8: Vergleich der Winddaten im Zeitraum 1. bis 13.11.1872 für Lübeck und Putbus zwischen Modell- und Beobachtungswerten nach BAENSCH (jeweils obere Reihe) und Beobachtungswerten nach BAENSCH (jeweils untere Reihe)

## 6. Ergebnisse der Wasserstandssimulation

Die zum Vergleich verwendeten Beobachtungswerte der Pegelstände entstammen ebenfalls der Veröffentlichung von BAENSCH (1875). Die Daten von BAENSCH wurden für den Vergleich ausgewählt, weil diese als einzige in Tabellenform mit genauen Zeitangaben vorliegen. Die maximalen Wasserstände in den Zeitreihen von BAENSCH (siehe dort Abb. 8) weichen zum Teil von den bei anderen Autoren angegebenen Scheitelwasserständen ab (z.B. MUDERSBACH und JENSEN, 2009), da zum einen die Daten eine Auswahl zulassen – für Travemünde gibt es z.B. weitere „amtliche“ Angaben 3,26 m über MW und 3,41 m über MW (ANONYMUS, 1872) – sie zum anderen von den verschiedenen Autoren unterschiedlich nachbereitet wurden.

Auf Grund des iterativen Verfahrens kann für die dabei verwendeten Pegel bei einem Vergleich mit Daten nicht von einer Verifikation gesprochen werden. Der Pegel Ölands Norra Udde wurde dagegen nicht in der Iteration verwendet. Abb. 9 zeigt bis zum 10.11. eine angemessene Übereinstimmung mit den Messungen. Danach ist offensichtlich eine lokale Windentwicklung nicht erfasst worden, die sich auch in den Daten von Stockholm zeigt.

Auch in der westlichen Ostsee reproduzierten die Windfelder zwischen 1. und 11.11.1872 die Pegelstände bereits bei der ersten Iteration (siehe Kap. 3). Am 12. und 13.11.1872 waren dagegen acht Iterationen nötig, und die Scheitelwasserstände reagierten sensibel auf Windänderungen.

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. Abb. 10 zeigt für Flensburg den Einfluss verschiedener Arten der Modifikation des Windfeldes. Danach war eine Anpassung des Luftdruckfeldes weniger bedeutend als die Wahl des Ansatzes zur Berechnung des Bodenwindes.

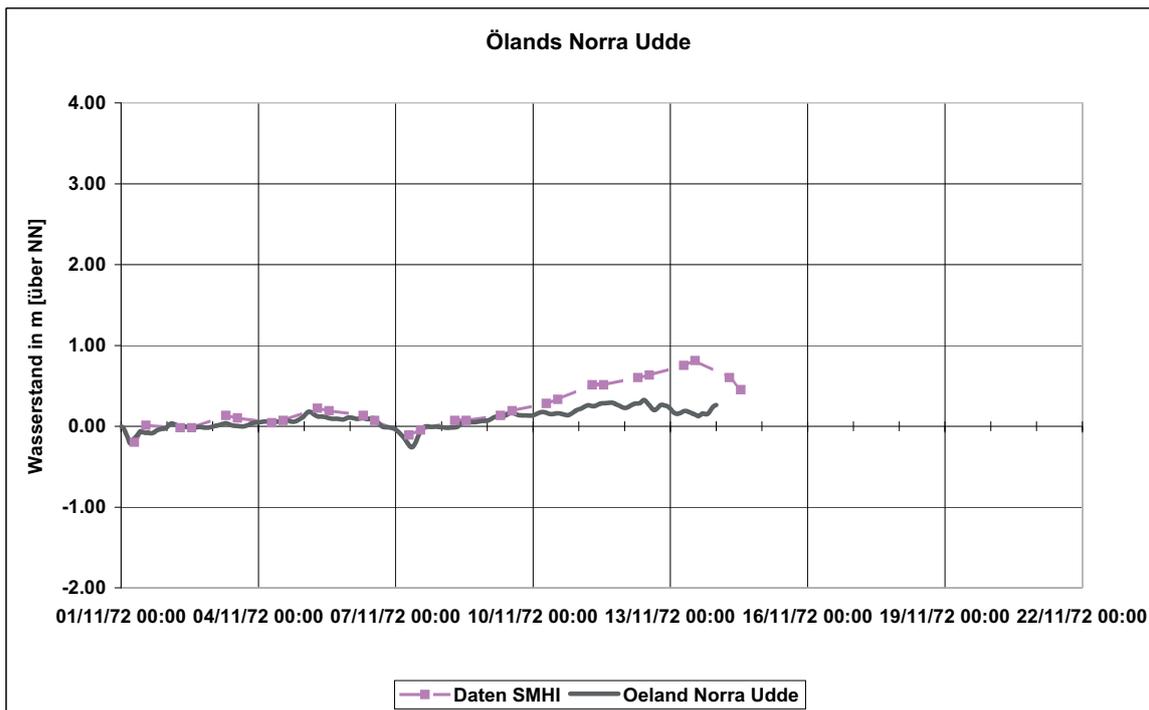


Abb. 9: Pegelstände in Öland zwischen 1. und 16.11.1872 simuliert und nach Daten des SMHI

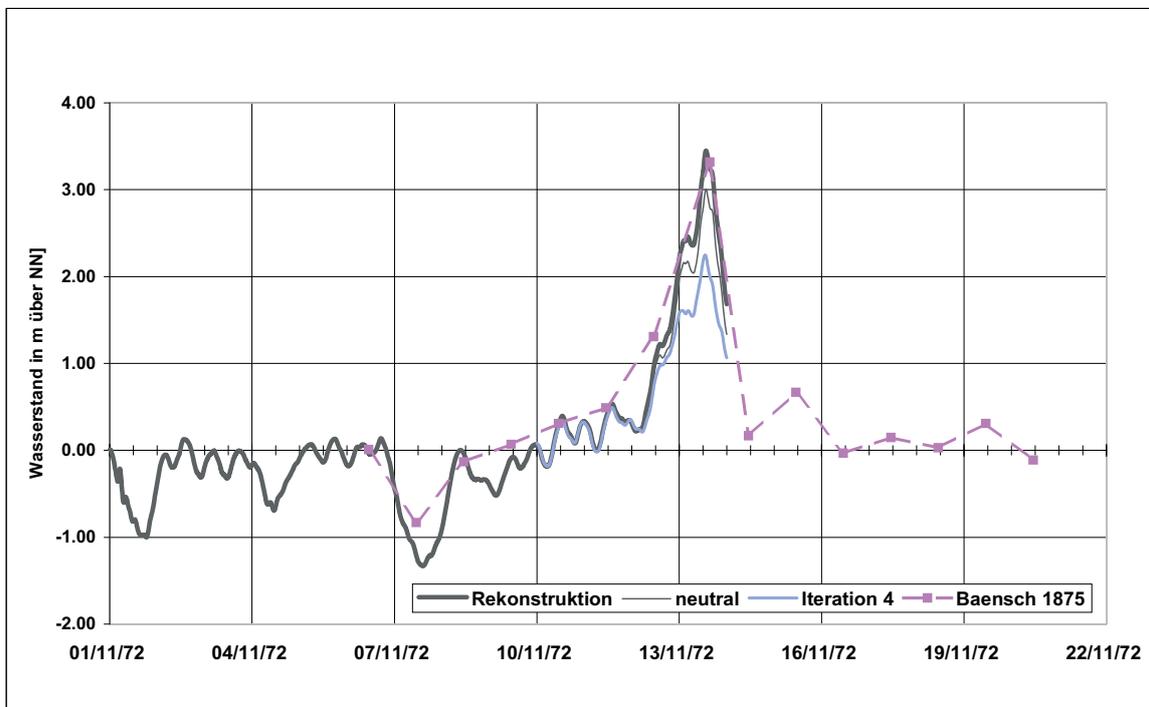


Abb. 10: Pegelstände in Flensburg zwischen 1. und 20.11.1872 nach BAENSCH (1875) und simuliert (schwarz fett: Rekonstruktion, schwarz fein: unter Annahme neutraler Schichtung, hellblau: Zwischenergebnis)

Abb. 11 zeigt einen Vergleich der maximalen Wasserstände der letzten Simulation und Werten von BAENSCH (1875) für den 13.11.1872. Mit Abweichungen von weniger als 10 % sind die Pegelhöchststände mit den Simulationen gut getroffen. Lediglich Neustadt und Swinemünde weisen etwas höhere Abweichungen auf.

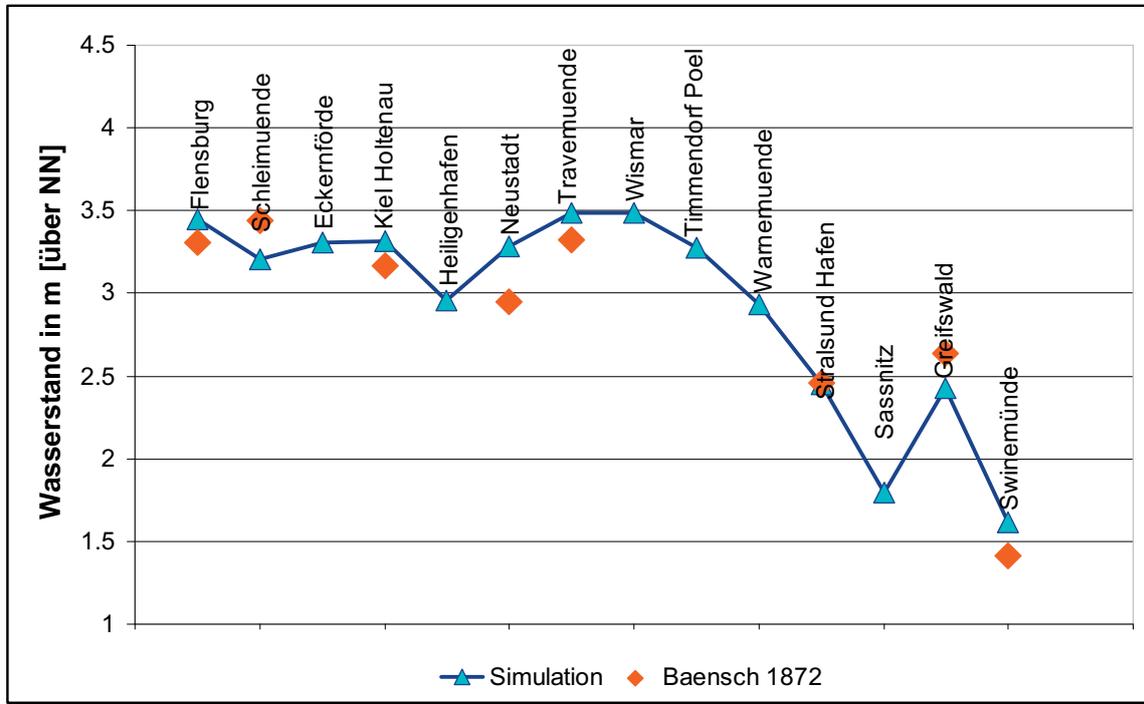


Abb. 11: Maximale Wasserstände am 13.11.1872 an verschiedenen Pegeln der deutschen Ostseeküste nach BAENSCH (1875), korrigiert nach MUDERSBACH (2008) sowie Simulationsergebnisse

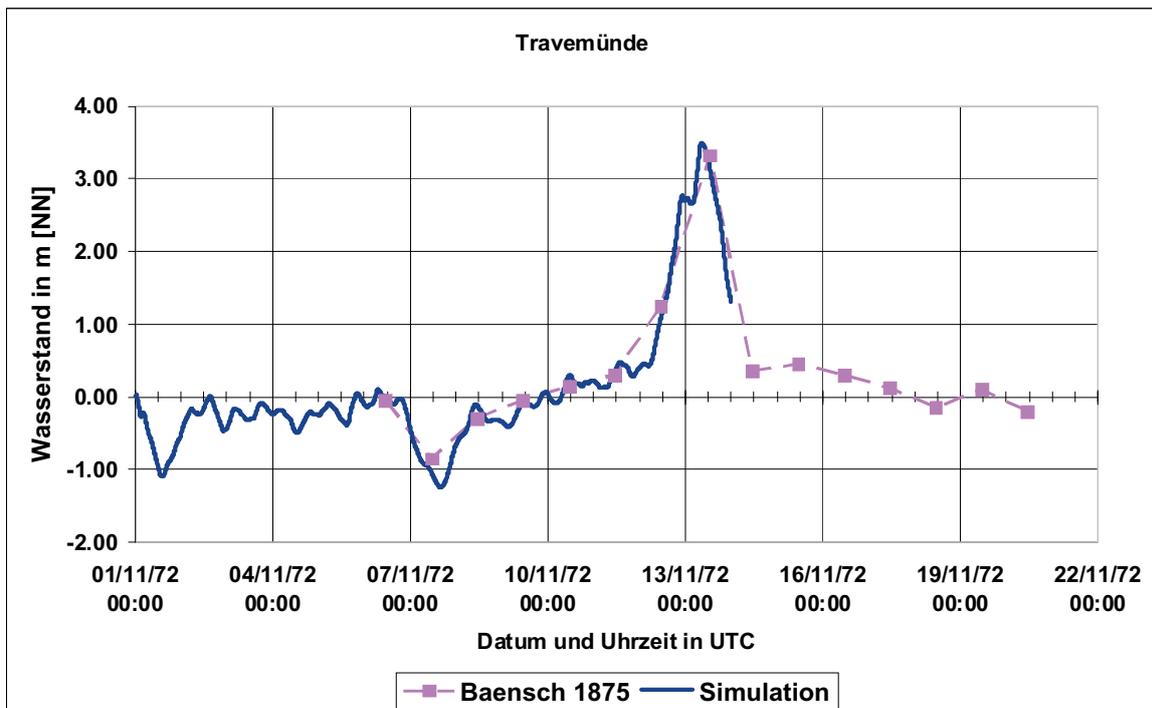


Abb. 12: Pegelstände in Travemuende zwischen 1. und 20.11.1872 simuliert und nach BAENSCH (1875)

Die Darstellungen der zeitlichen Verläufe der Pegelstände im Zeitraum 1. bis 20.11.1872, in Abb. 12 und 13 sind beispielhaft Travemünde und Stralsund wiedergegeben. Sie zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Messwerten nach BAENSCH (1875) und der Simulation, besonders liegen die maximal gemessenen Werte auf der berechneten Kurve.

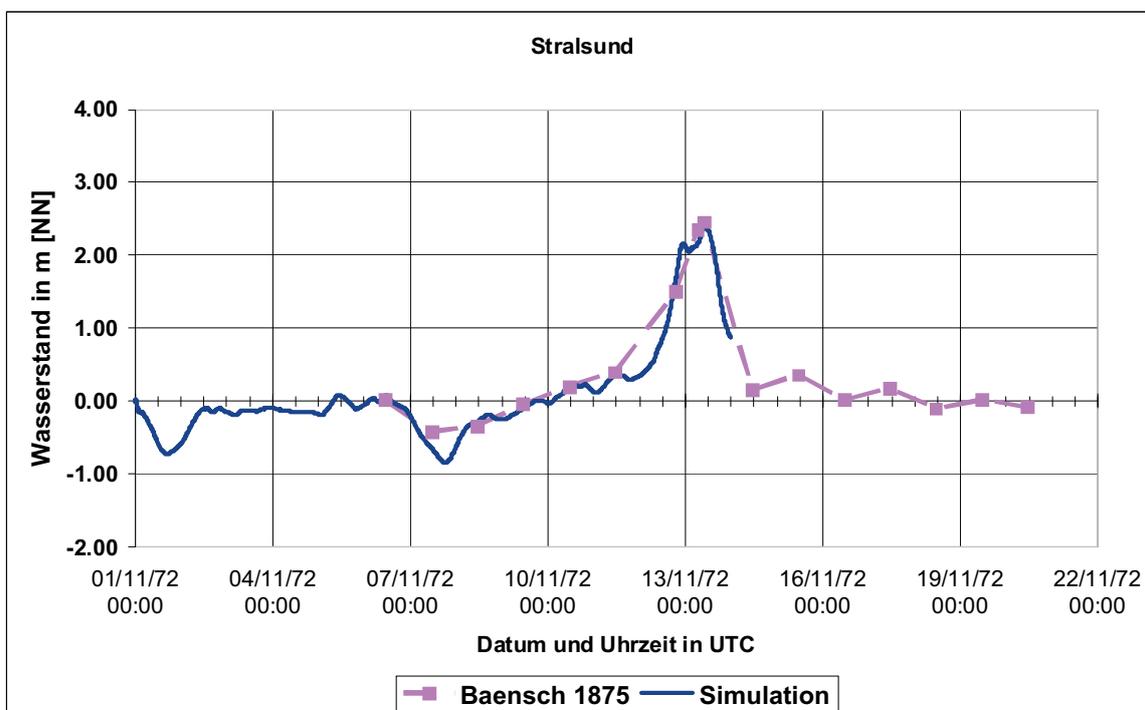


Abb. 13: Pegelstände in Stralsund zwischen 1. und 20.11.1872 simuliert und nach BAENSCH (1875)

## 7. Wetterlage vom 1. bis 13.11.1872 und ihre Wirkung

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

Vom 1. bis 10.11. bestimmte über einen ungewöhnlich langen Zeitraum tiefer Luftdruck über dem Nordmeer und Skandinavien das Wetter (Abb. 14 bis 17) mit vorwiegend westlichen bis südwestlichen, zeitweise stürmischen Winden. Während dieser Zeit wurde Wasser aus dem Kattegat in die Ostsee bis östlich von Arkona transportiert, allerdings unterbrochen durch Rückstromphasen. Insgesamt erreichte der kumulative Transport bei Arkona bereits am 9.11. sein Maximum (Abb. 23).

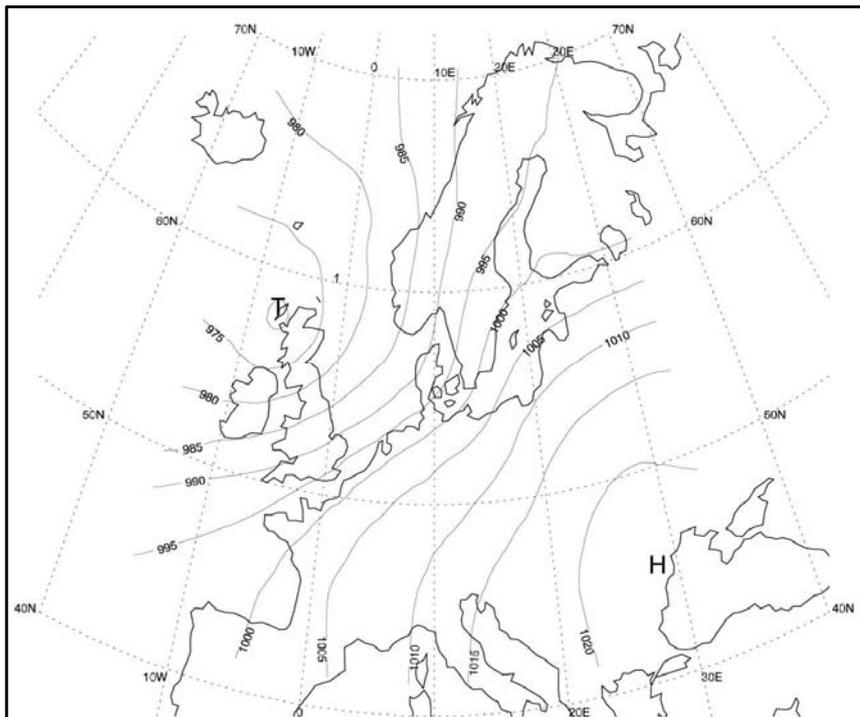


Abb. 14: Wetterlage am 2.11.1872 6 Uhr

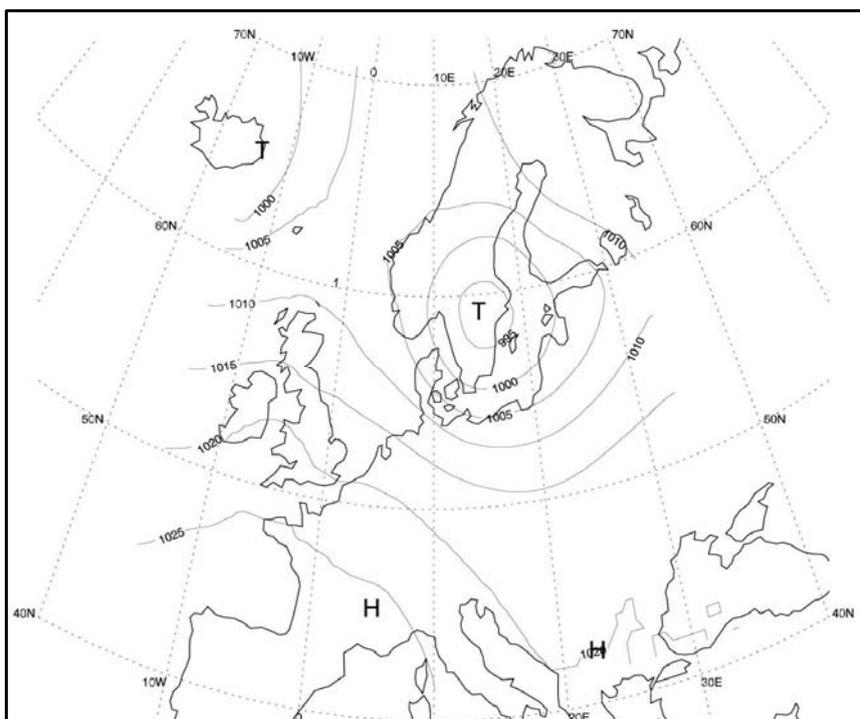


Abb. 15: Wetterlage am 4.11.1872 6 Uhr

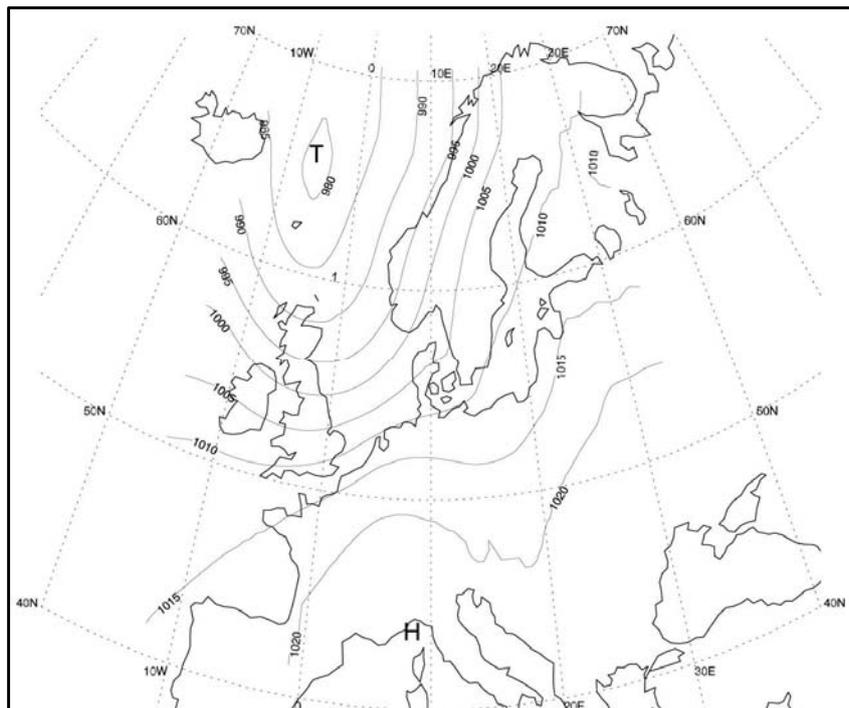


Abb. 16: Wetterlage am 6.11.1872 6 Uhr

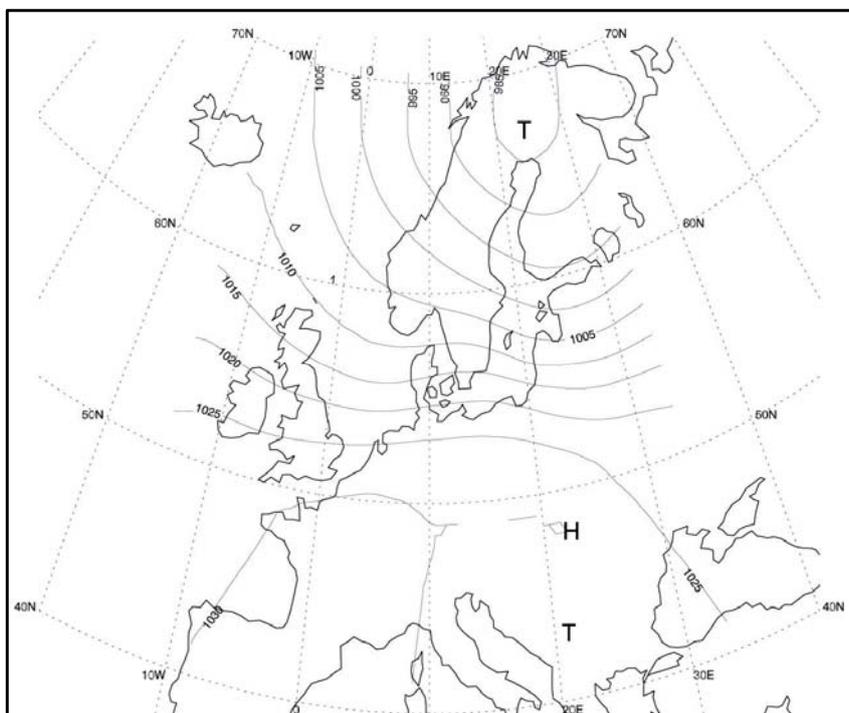


Abb. 17: Wetterlage am 8.11.1872 6 Uhr

Am 10.11. erfolgte eine Umstellung der Wettersituation (Abb. 18): 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 (Abb. 23).

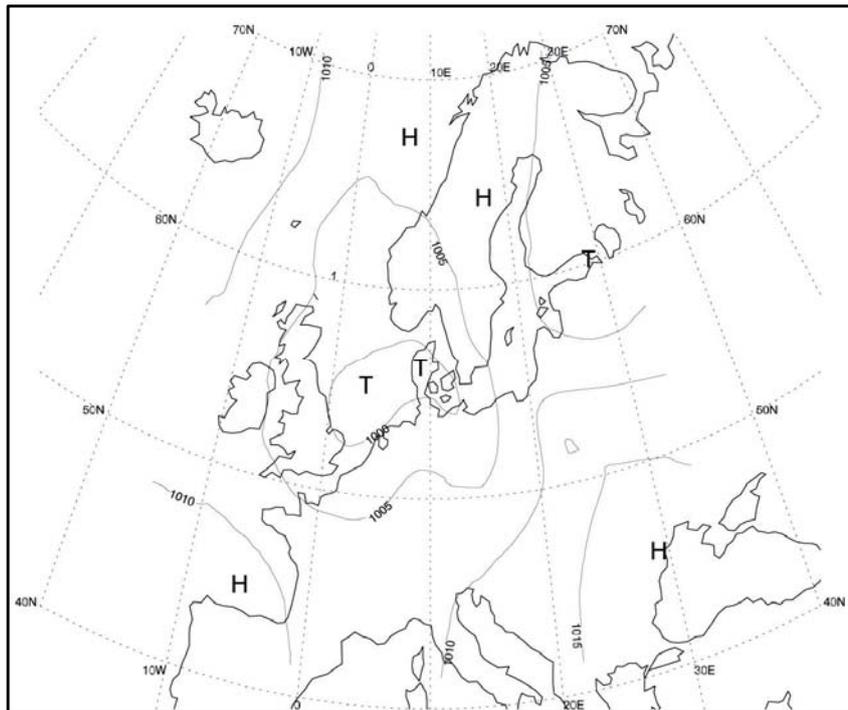


Abb. 18: Wetterlage am 10.11.1872 6 Uhr

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 (Abb. 19 und 20). Damit wehte über der Ostsee ein zunehmender Ost- bis Nordostwind. Der Wassertransport nach Westen setzte sich fort. Ein inten-

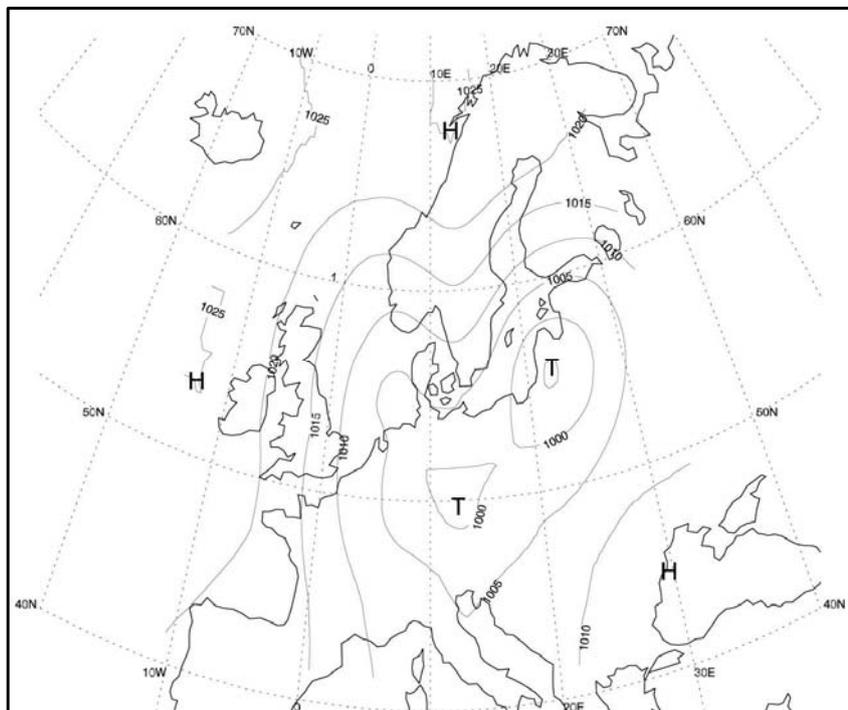


Abb. 19: Wetterlage am 11.11.1872 6 Uhr

siver Rückstrom begann jedoch erst mit dem Sturm am 12.11. (Abb. 23). 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 (Abb. 21) ein extremer Luftdruckgradient.

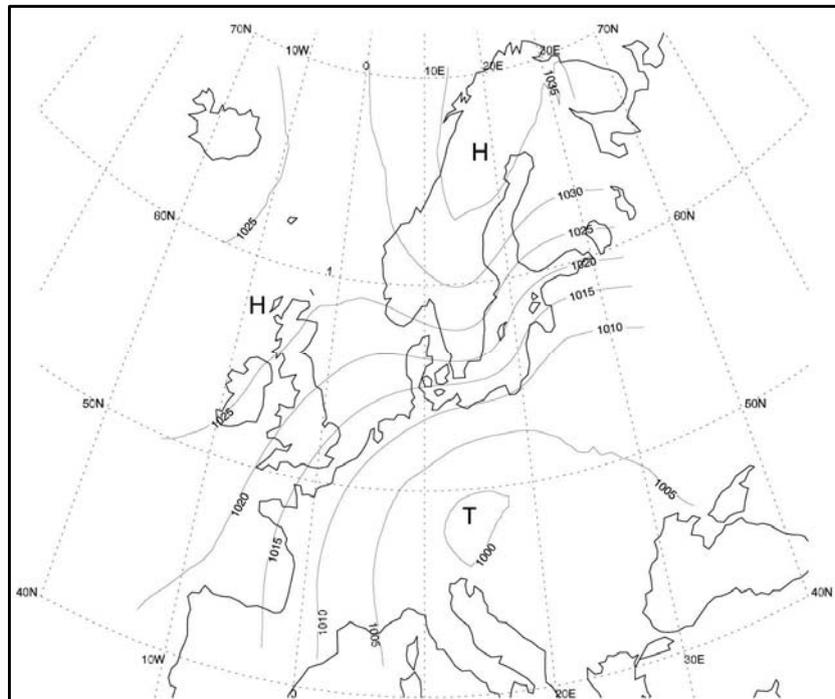


Abb. 20: Wetterlage am 12.11.1872 6 Uhr

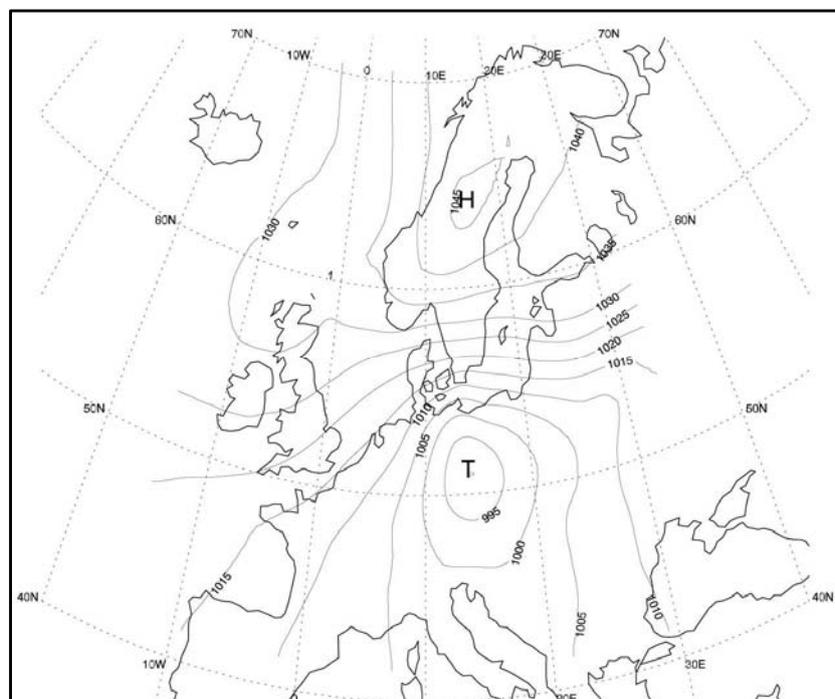


Abb. 21: Wetterlage am 13.11.1872 6 Uhr

Der Nordoststurm erreichte Orkanstärke (Abb. 22). 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. Der Wasserstand fiel wieder.

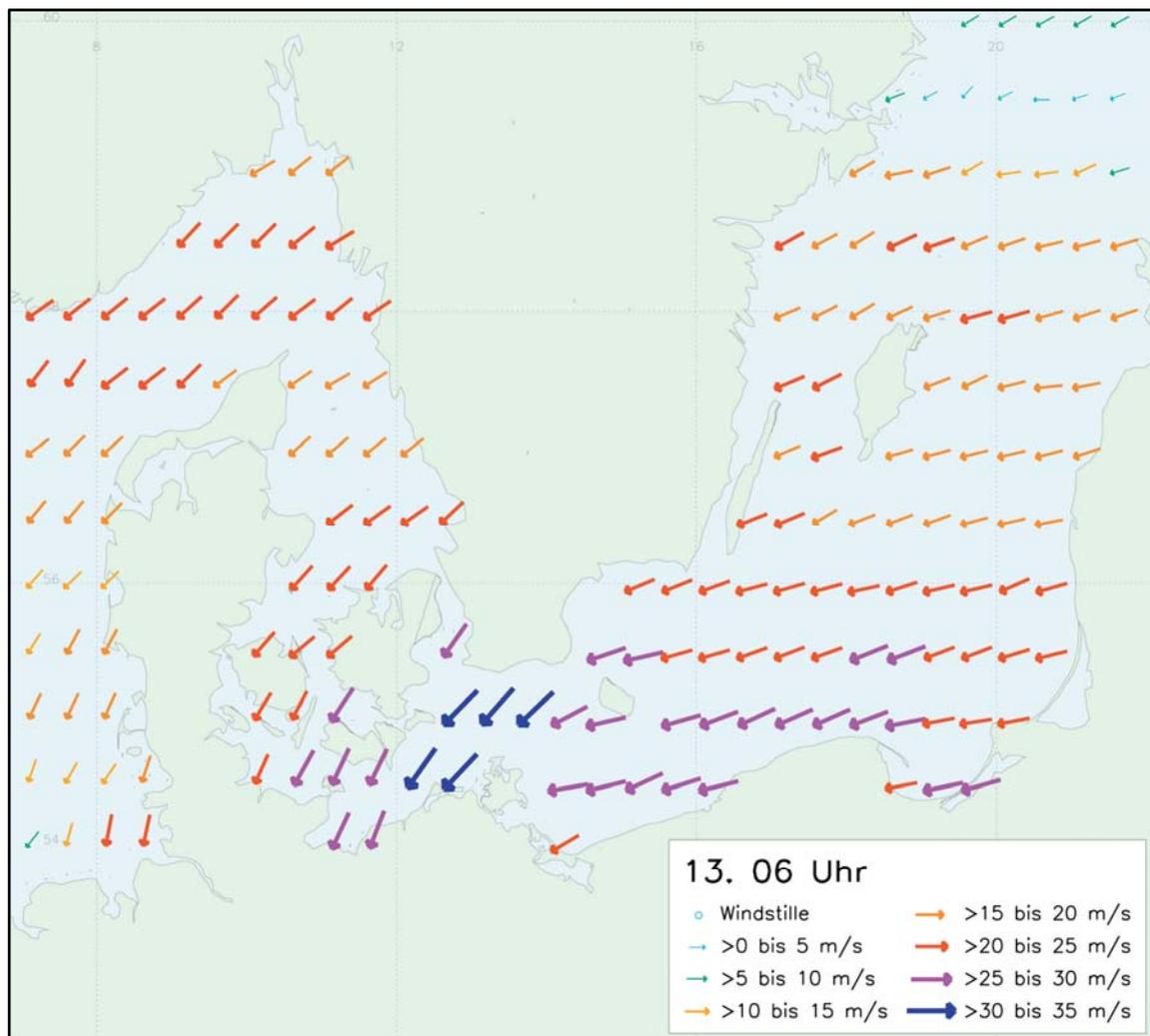


Abb. 22: Windverhältnisse über der Ostsee am 13.11.1872 um 6 Uhr

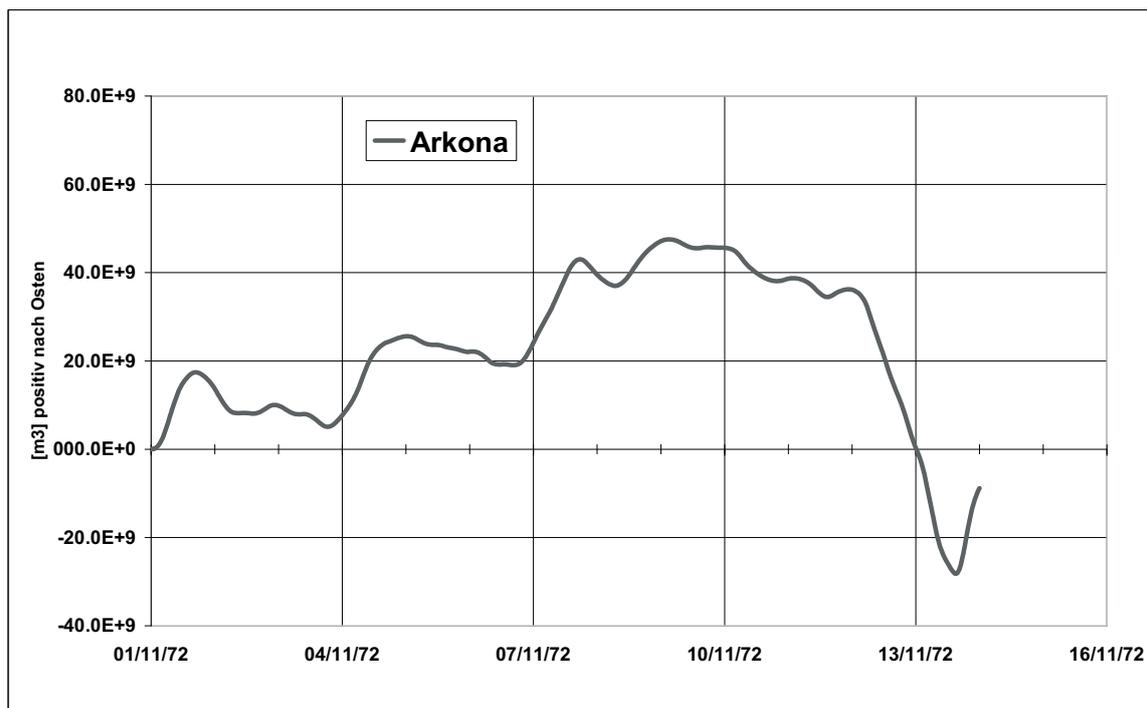


Abb. 23: Kumulativer Transport (positiv nach Osten) über einen Schnitt auf Höhe von Arkona

## 8. Ausblick

Die Untersuchung hat gezeigt, dass sich das Verfahren der Berechnung von Rasterdatensätzen des Windvektorfeldes aus Luftdruckdaten, wie sie zur Rekonstruktion des Wasserstandes, der Strömung und des Seegangs 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.

## 9. Danksagung

Die Arbeiten wurden von MitarbeiterInnen des DWD und des BSH und anderen Instituten unterstützt. Wir danken insbesondere den Nationalen Meteorologischen Diensten von 14 Nachbarstaaten für die Lieferung der Manuskripte mit Daten von Luftdruck und Temperatur, den nationalen hydrologischen Diensten von Schweden und Holland für die Lieferung von Pegeldata, N. Frank, DWD, und R. Warnecke, BSH, für die Digitalisierung der Luftdruckfelder, R. Sedlatschek, DWD, für die Berechnung des geostrophischen Windes, R. Tinz, DWD, für die Unterstützung bei der manuellen Luftdruckanalyse, E. Roßkamp und D. Bürckel, DWD, für die Diagrammbearbeitung und S. Schwabe, BSH, für Aufnahme der historischen Wasserstandsdaten. Unser ganz besonderer Dank gilt zudem N. Frank, DWD, für die mühevoll akribische Prüfung der Luftdruckdaten.

## 10. Schriftenverzeichnis

- ALEXANDERSSON, H.; SCHMITH, T.; IDEN, K. u. TUORMENVIRTA, H.: Long-term trend variations of the storm climate over NW Europe. *The Global Atm. and Ocean System*, Vol. 6, 97 pp., 1998.
- ANONYMUS: Die Ueberschwemmung der Ostsee in der Lübecker Bucht, an den Travegestaden, an den Küsten des Fürstenthums Lübeck, Schleswig-Holsteins, Mecklenburgs am 12/13. November 1872, Hamburg, 48 S., 1872.
- ANSELL, T. J.; JONES, P. D.; ALLAN, R. J.; LISTER, D.; PARKER, D. E.; BRUNET, M.; MOBERG, A.; JACOBEIT, J.; BROHAN, P.; RAYNER, N. A.; AGUILAR, E.; ALEXANDERSSON, H.; BARRIEN-DOS, M.; BRANDSMA, T.; COX, N. J.; DELLA-MARTA, P. M.; DREBS, A.; FOUNDA, F.; GERSTENGARBE, F.; HICKEY, K.; JÓNSSON, T.; LUTERBACHER, J.; NORDLI, Ø.; OESTERLE, H.; PETRAKIS, M.; PHILIPP, A.; RODWELL, M. J.; SALADIE, O.; SIGRO, J.; SLONOSKY, V.; SRNEC, L.; SWAIL, V.; GARCIA-SUÁREZ, A. M.; TUOMENVIRTA, H.; WANG, X.; WANNER, H.; WERNER, P.; WHEELER, D. and XOPLAKI, E.: Daily Mean Sea Level Pressure Reconstruction for the European-North Atlantic Region for the Period 1850–2003. *Journal of Climate*, Vol. 19., Issue 12, pp. 2727–2742, 2006.
- BAENSCH, O.: Die Sturmfluth an den Ostsee-Küsten des Preussischen Staates vom 12./13. November 1872, *Zeitschrift für Bauwesen*, Berlin, 1875.
- BIRR, H.-D.: Der älteste Küstenpegel Mecklenburg-Vorpommerns: Stralsund. Meer und Museum 18, 41–47, 2005.
- BORK, I. u. MÜLLER-NAVARRA, S. H.: Simulation und Analyse extremer Sturmhochwasser an der Deutschen Ostseeküste. Abschlussbericht 1.3 zum KFKI-Verbundprojekt Modellgestützte Untersuchungen zu extremen Sturmflutereignissen an der Deutschen Ostseeküste (MUSTOK), Hamburg, 2009a.
- BORK, I. u. MÜLLER-NAVARRA, S. H.: Modellierung von extremen Sturmhochwassern an der Deutschen Ostseeküste. *Die Küste*, Heft 75, 2009.
- COLDING, A.: Nogle Undersøgelse over Stormen Nord- og Mellem-Europa af 12te–14de November 1872 og over den derved fremkaldte Vandflod i Östersöen, *Vidensk. Selsk. Skr.* 6, Kopenhagen, 1881.
- DICK, S.; KLEINE, E. u. JANSSEN, F.: First Results of a New Operational Circulation Model for the North Sea and the Baltic Using General Vertical Co-ordinates. *Proceedings of EuroGOOS Conference (Exeter)*, (in Vorbereitung), 2008.
- DUUN-CHRISTENSEN, J. T.: 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.
- EJDORF, K.: Stormfloden den 13. november 1872 – Danmarks største strandingskatastrofe, Skib Forlag, Stenstrup, 2003.
- FOCKEN, U. u. HEINEMANN, D.: Influence of Thermal Stratification on Wind Profiles for Heights up to 140 m. *Proceedings of EWEC 2003*, Madrid, 2003.
- ILLUSTRIRTE ZEITUNG: Nr. 1537 vom 14.12.1872, Leipzig, 1872.
- HASSE, L.: Note on the Surface-to-Geostrophic Wind Relationship from Observations in the German Bight, *Boundary-Layer Meteorology* 6, 197 pp., 1974, 1999.
- JANSSEN, F.; SCHRUM, C. u. BACKHAUS, J. O.: A Climatological Data Set of Temperature and Salinity for the Baltic Sea and the North Sea. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, Supplement 9, 1999.
- JENSEN, J. u. TÖPPE, A.: Zusammenstellung und Auswertungen von Originalaufzeichnungen des Pegels Travemünde/Ostsee ab 1826. *DGM*, Jahrgang 30, H. 4, 1986.
- KIECKSEE, H.: Die Ostseesturmflut 1872 mit einem Beitrag von P. Thran und H. Kruhl. – *Schr. des Dt. Schifffahrtsmuseums Bremerhaven*, Bd. 2, 1972.
- LUTHARD, H. u. L. HASSE: 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. u. HASSE, L.: On the relationship between surface and geostrophic wind in the German Bight area, *Beitr. Phys. Atm.* 54, 222 pp., 1981.
- MUDERSBACH, CH. u. JENSEN, J.: Extremwertstatistische Analyse von historischen, beobachteten und modellierten Wasserständen an der Deutschen Ostseeküste. *Die Küste*, Heft 75, 2009.

- MÜLLER-NAVARRA, S. H. u. BORK, I.: Sturmflutsimulationen, Tagungsbericht Sturmflutgefährdung der Ostsee – MUSTOK Workshop, Rostock, 2008.
- PETERSEN, M. u. ROHDE, H.: Sturmflut, Karl Wachholtz Verlag, Neumünster, 1979.
- SCHMAGER, G.: Das Verhältnis von wahren zu geostrophischem Wind in der Ostsee, pers. Mitteilung, 1993.