

Die Entwicklung der Sturmhäufigkeit in der Deutschen Bucht zwischen 1879 und 2000

H. Schmidt

Einführung

Klimatrends, auch als Folge menschlicher Eingriffe in die Natur, werden in neuerer Zeit eingehend diskutiert, oftmals vor allem in Verbindung mit numerischen Simulationen. Es erscheint daher notwendig, möglichst lange Reihen empirischer Daten zur Verifikation bereitzustellen. Hier wird eine 122-jährige Reihe des geostrophischen Windes für die Deutsche Bucht präsentiert, die aus täglich drei Beobachtungen des Luftdrucks von drei im Dreieck mit einer Seitenlänge von 250-300 km angeordneten Stationen berechnet wurde.

Der bodennahe Wind ist eine problematische klimatologische Größe. Einerseits ist er sicherlich ein Maß für die generelle atmosphärische Bewegung. Andererseits aber werden Windmesswerte in Bodennähe stark durch lokale Gegebenheiten beeinflusst, nämlich durch die aerodynamische Rauigkeit der Umgebung und durch Strömungshindernisse im Nahfeld. Beide Umfeldeigenschaften weisen häufig sprunghafte, durch den Menschen verursachte Änderungen auf. Die natürlichen Änderungen verlaufen dagegen meist allmählich. Zusätzlich ändert sich der Wind stark mit der Höhe über Grund und schließlich wirken sich auch unterschiedliche Messverfahren auf die Windwerte aus.

Selbst bei idealer Dokumentationslage können die genannten Einflüsse auf die Windmesswerte nur in recht grober Weise reduziert werden. Meist liegen aber nur die Messwerte selbst vor, die dann eine Fülle unbekannter und nicht reduzierbarer Sprünge und sporadischer Trends enthalten. Es wird kaum eine annähernd homogene Reihe von Windmessungen geben, die länger ist als etwa 30 Jahre.

Wir sind daher zur Darstellung der Windverhältnisse des vergangenen Jahrhunderts auf den bodennahen geostrophischen Wind übergegangen. Er ist dem horizontalen Gradienten des Luftdrucks in Meereshöhe proportional und ist damit ebenfalls ein Maß für die atmosphärische Bewegung. Der reale Wind ist durch die Reibung der Atmosphäre an der Erdoberfläche systematisch geringer als der geostrophische.

Im Gegensatz zum Wind kann der Luftdruck relativ unproblematisch gemessen werden. Das Messverfahren mit Quecksilber-Stationsbarometern ist bis heute weitgehend unverändert geblieben. Nach erfolgter Temperatur- und Schwerekorrektur hängt der Luftdruck im wesentlichen nur noch von der Höhe über dem Meer ab, die üblicherweise gut dokumentiert ist. Aber auch beim Luftdruck macht sich die menschliche Unrast bemerkbar. Nirgendwo an der Deutschen Bucht wurde der Luftdruck kontinuierlich über das Jahrhundert am gleichen Ort gemessen. Die Barometerhöhen wechselten noch viel öfter als die Orte.

Die Daten

Für diese Untersuchung wurden Luftdruckdaten von Stationen aufbereitet, die im Bereich der Deutschen Bucht ein nahezu gleichseitiges Dreieck von 250-300 km Seitenlänge bilden. Die Luftdruckdaten der drei Eckpunkte beschreiben zu einem Beobachtungstermin eine geneigte Ebene. Diese Fläche erster Ordnung kann als lokale Näherungslösung für das tatsächliche Luftdruckfeld zum Termin betrachtet werden. Aus dem Gradienten der Fläche lässt sich der geostrophische Wind nach den bekannten Beziehungen direkt berechnen. Die so abgeleiteten Windwerte werden alle größerskaligen Phänomene richtig wiedergeben. Kleinräumige Undulationen des Druckfeldes oder geschlossene Isobaren und damit auch entsprechende Eigenschaften des Windfeldes werden durch dieses Verfahren jedoch ausgefiltert.

Die verwendeten Stationen sind in der Abb. 1 dargestellt. An jedem der drei Eckpunkte waren durch die Datenlage im Laufe der Jahre einige Stationswechsel erforderlich. Das Dreieck ist daher nicht konstant. Als nördlicher Eckpunkt wurden die Stationen Keitum/Sylt (1878-1920), zeitweise ersetzt und später abgelöst durch Nordby/Fanøe (Dänemark, 1915, 1917, 1921-1970), ergänzt durch Tondern (Dänemark, 1942, 1944, 1948, 1952), und List/Sylt (1950-2000) gewählt. Den südöstlichen Eckpunkt bilden Hamburg-St.Pauli (1878-1937, 1950-1970) und Hamburg-Fuhlsbüttel (1938-2000). Im Südwesten liegen schließlich Borkum (1878-1921, 1930-1938, 1950-1970), ersatzweise Groningen (Niederlande, 1922-1930, 1939-1949) und Emden (1950-2000, mit Wechsel zum Flughafen 1997).

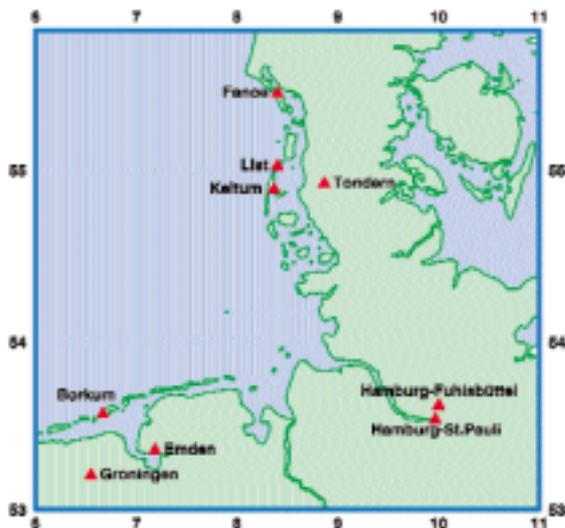


Abb. 1 Lage der verwendeten Stationen.

Terminen 06, 12 und 21 UTC verwendet, bei denen die Luftdruckwerte bereits auf NN reduziert sind.

Die Aufbereitung und wissenschaftliche Validation der Daten wurde von Behrens und Schmidt (1998) im Rahmen verschiedener Küstenschutz-Projekte vorgenommen, die über das KFKI (Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen) aus Mitteln des BMBF gefördert wurden.

Für diese Untersuchung wurden durchgehend täglich drei Terminwerte des Luftdrucks verwendet. Bis 1970 sind dies die drei Klimatermine um 07, 14 und 21 Uhr Ortszeit. Datenquellen waren bis 1949 (Dänemark bis 1970) die Meteorologischen Jahrbücher der Nationalen Wetterdienste, danach die elektronischen Archive des DWD. Die Jahrbücher wurden eingescannt. Alle Klimadaten bis 1970 wurden auf das Meeresniveau reduziert. Früheste Daten mussten auch noch einer Schwerekorrektur unterzogen werden. Nach 1970 (und parallel auch 1950-70) wurden synoptische Beobachtungen des Dreiecks List, Emden und Hamburg-Fuhlsbüttel zu den

Die Korrektur der Daten war schwierig, weil es besonders für die ersten Jahrzehnte keine Vergleichsdaten gibt. Daher stützte sich die Fehlererkennung weitgehend auf Plausibilitätstests. Die meisten erkannten Fehler waren Druckfehler, fehlerhafte Ablesungen (besonders 10 mm Hg- bzw. 10 hPa-Fehler) und Fehler beim Scannen ähnlicher Ziffern (1-7, 3-8, 5-6). Einige Fehler dieser oder geringerer Größe werden sicher noch in den Daten vorhanden sein. Ein möglicher, nicht reduzierbarer Fehler sind dynamisch bedingte Unter- oder Überdrucke, die sich bei starkem Wind an und in Gebäuden (besonders in Küstennähe) einstellen können. Diese Fehler sind im nachhinein keiner Korrektur zugänglich.

Ein anderes Problem waren die Zeitdifferenzen zwischen den Druckablesungen der drei Stationen, die sich insbesondere zwischen 1920 und 1949 bis auf mehrere Stunden beliefen. Angesichts häufiger hoher Drucktendenzwerte und auch wegen möglicher Auswirkungen des Tagesganges des Luftdrucks musste dieser Asynchronität zur Berechnung des geostrophischen Windes so weit wie möglich begegnet werden. Daher wurden die Luftdruckwerte bis 1949 linear auf einheitliche Termine 07, 14 und 21 Uhr MEZ hin interpoliert. Nach 1949 fanden die Klimaablesungen einheitlich zu konstanten lokalen Zeiten 07, 14 und 21 Uhr statt. Die nach 1970 (und parallel von 1950-70) verwendeten synoptischen Beobachtungen (SYNOP) bieten in dieser Hinsicht naturgemäß überhaupt keine Probleme.

Ein Methodenvergleich

Nach Abschluss der vorbereitenden Arbeiten standen schließlich zwei Zeitserien des geostrophischen Windes aus Dreiecks-Berechnungen zur Verfügung, und zwar eine Zeitserie aus Klimadaten 1879-1970 und eine aus SYNOP-Daten 1950-2000 mit einer Überlappung von 21 Jahren. Das SYNOP-Dreieck List, Emden, Hamburg-Fuhlsbüttel

ist etwas kleiner als das Dreieck der Klimadaten Fanoe, Borkum, Hamburg-St.Pauli.



Abb. 2 Vergleich der Jahresmittelwerte des geostrophischen Windes aus verschiedenen Berechnungsmethoden für den Überlappungszeitraum 1950-70.

Die Abb.2 zeigt den Vergleich der Jahresmittelwerte des geostrophischen Windes aus beiden Berechnungen (SYNOP in rot, Klima in blau). Zwischen 1950 und 1961 zeigen sich deutliche Unterschiede. Die Windwerte aus den SYNOP-Daten liegen um durchschnittlich knapp 1 ms^{-1} niedriger. Ab 1962 ist kein systematischer Unterschied mehr erkennbar. Die Ursache für die Abweichungen vor 1962 konnte

letztendlich nicht geklärt werden, sie wird aber sicher nicht in der Dreiecksgröße, sondern in verborgenen, stationsspezifischen Unzulänglichkeiten der Daten liegen. Ähnliche Effekte sind bei den notwendigen Stationswechseln in den früheren Dezennien auch denkbar.

Als dritte Kurve (grün) sind in Abb.2 geostrophische Windwerte eingetragen, die aus der Anpassung einer Fläche 2. Ordnung an die Luftdruckdaten von etwa 20 SYNOP-Stationen im Bereich der Deutschen Bucht abgeleitet wurden. Diese Daten können hier nicht weiter erörtert werden. Es ist aber jedenfalls davon auszugehen, dass diese Windwerte verlässlicher sind als diejenigen aus Dreiecksberechnungen. Hier zeigt sich nun eine gute Übereinstimmung mit den Klima-Werten von 1950-53 und von 1962-70. Größere Abweichungen gibt es nur in den Jahren 1956-59, deren Ursache ebenfalls nicht geklärt werden konnte.

Für die folgenden Betrachtungen haben wir uns daher entschlossen, eine vollständige Datenreihe durch Verwendung der geostrophischen Windwerte aus den Klimadaten bis 1970 und den Anschluss durch die Werte aus dem SYNOP-Dreieck bis 2000 herzustellen. Die wahrscheinlich besseren Werte aus der Fläche 2.Ordnung haben wir hier nicht verwendet, um einen zusätzlichen Bruch in der Berechnungsmethodik zu vermeiden. Die Untersuchungsergebnisse für diese zusammengesetzte Datenreihe sind in den Abb. 3 und 4 dargestellt. Um die Teilung der Sturmsaison des Winters durch den Jahreswechsel zu vermeiden, beginnen unsere „Jahre“ am 1. September des Vorjahres und enden am 31. August des laufenden Jahres. (Das „Jahr 2000“ z.B. geht hier also vom 1.9.1999-31.08.2000).

Die Entwicklung der Geschwindigkeit des geostrophischen Windes

Die Abb. 3 fasst drei statistische Parameter der jährlichen Häufigkeitsverteilungen der geostrophischen Windgeschwindigkeit zusammen. Unten sind die jährlichen Mittelwerte dargestellt, darüber die 10%- und 1%-Fraktile. Letztere sind diejenigen Schwellenwerte der Windgeschwindigkeit, die von 10% bzw. 1% aller Windgeschwindigkeiten des Jahres erreicht oder überschritten werden. Den jährlichen Einzelwerten (blau) der drei Parameter sind in rot geglättete Kurven überlagert, die mit einem Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 15 Jahren berechnet wurden. (Zum Vergleich: Geostrophische Windgeschwindigkeiten von 10, 20, 30 und 40 ms^{-1} entsprechen etwa 7, 13, 18 und 22 ms^{-1} im realen Wind).

Die Zeitserien der drei Parameter sind einander sehr ähnlich, nur nehmen die Variationen mit der Geschwindigkeit zu. Neben starken irregulären kurzperiodischen Variationen erscheint als dominante Struktur eine ausgeprägte langperiodische Variation. Die Spektralanalyse der Jahresmittelwerte ergab eine einzige dominante Schwingung mit einer Periode von gut 35 Jahren. Alle übrigen Spektralwerte sind sehr viel geringer. Sehr ähnlich waren die Ergebnisse von Schmidt und von Storch(1993), die mit der gleichen Methode die 07 Uhr-Luftdrucke im Dreieck Fanoe, Borkum, Hamburg für 1876-1989 zur Berechnung des geostrophischen Windes verwendeten. Grundsätzlich ähnlich sind auch die Ergebnisse von Alexandersson et al. (1998), die die gleiche Methode auf eine Vielzahl von Luftdruck-Dreiecken über dem nordwestlichen Europa anwendeten. Das ausgeprägte Maximum zwischen 1940 und 1960 in der hiesigen Abbildung 3 ist dort deutlich schwächer. Übereinstimmung besteht aber in den hohen Maxima zum Anfang und Ende des 20. Jahrhunderts.

Über den gesamten Zeitraum unserer Untersuchung ergibt sich ein leicht fallender linearer Trend von -0.4 ms^{-1} pro 100 Jahre, für 1900 bis 2000 ergibt sich -0.5 ms^{-1} .

Angesichts der starken langperiodischen Variationen kann er nicht als von Null verschieden angesehen werden, da der Wert weitgehend von der zufälligen Lage des Anfangs- und Endpunktes in Bezug auf Maxima und Minima abhängt. Dieses Ergebnis unterscheidet sich deutlich von den Zeitserien des (durch Stürme bedingten) Tidehochwassers in der Deutschen Bucht (z.B. Siefert und Jensen, 1993), die nämlich zu langperiodischen Variationen auch noch einen signifikanten positiven Trend für das vergangene Jahrhundert aufweisen.

Mitte der 90er Jahre gab es umfangreiche Diskussionen im Küstenschutz, in denen der kontinuierliche Anstieg der Windgeschwindigkeit ab etwa 1970 als „Trend“ gedeutet wurde. Diese Ansicht wurde scheinbar unterstützt durch etliche Messreihen der Windgeschwindigkeit, die dieses Phänomen auch aufwiesen, die aber meist auch erst um 1970 begannen. Tatsächlich handelt es sich aber eben nur um einen kurzen Ausschnitt aus einer langen Reihe, der zufällig den Anstieg einer langen Schwingung umfasst. Einen ähnlichen Schluss hätte man für die Zeiten 1880-1910 oder 1930-60 ziehen können.

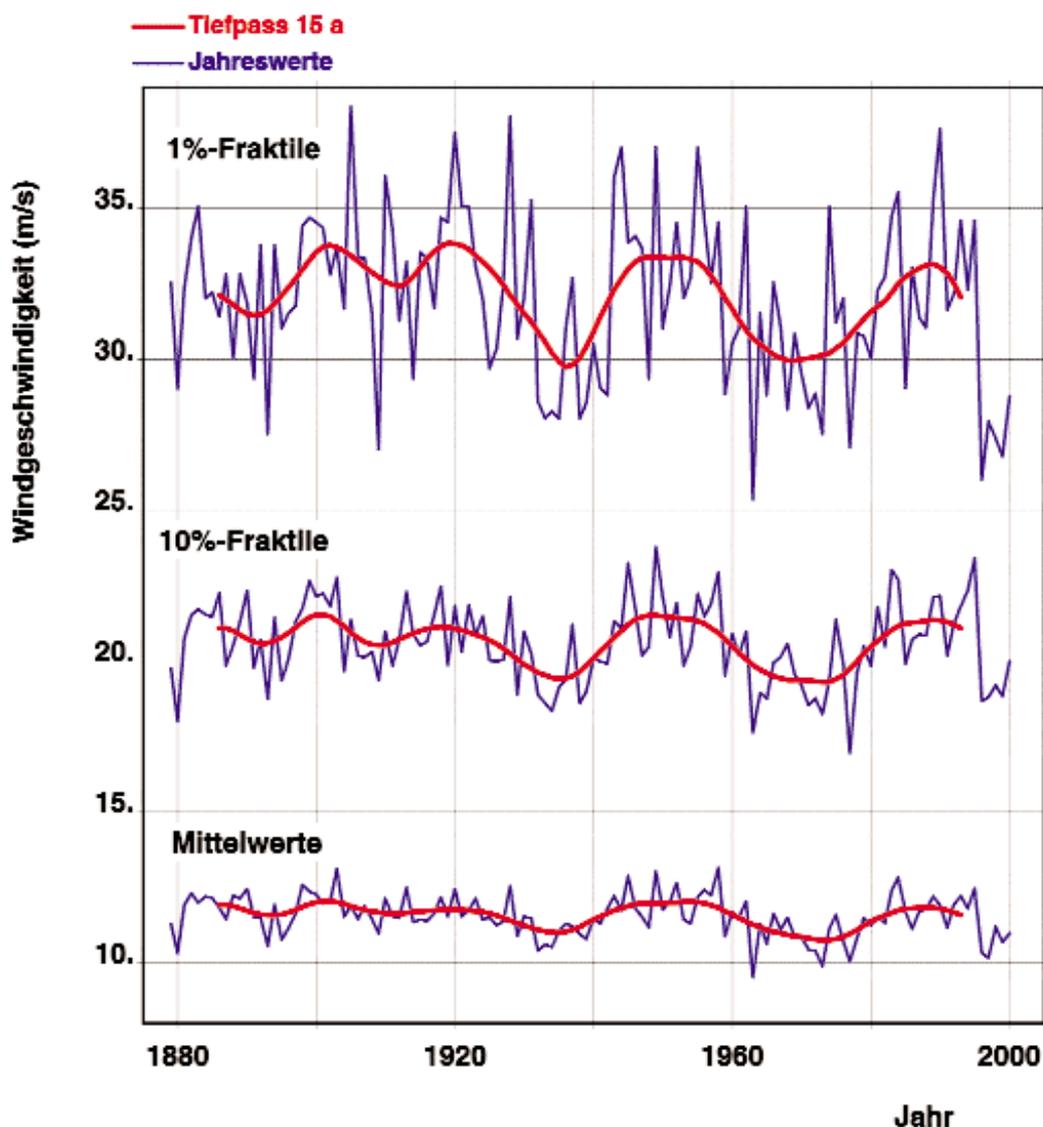


Abb. 3 Zeitserien verschiedener statistischer Parameter der jährlichen Häufigkeitsverteilungen der geostrophischen Windgeschwindigkeit.

Jetzt zeigt sich, dass der kontinuierliche Anstieg der letzten drei Jahrzehnte zunächst einmal beendet ist. Die letzten fünf Jahre unserer Reihe des geostrophischen Windes in der Deutschen Bucht gehören zu den windschwächsten Jahren des Jahrhunderts. Selbst die tiefpassgefilterten Kurven in Abb. 3 fallen bereits. Auch Alexandersson et al. (2000) berichteten nach Ergänzung ihrer Untersuchung von 1998 um wenige Jahre über diese Tatsache. Sie weisen allerdings eindringlich daraufhin, dass dies keinen Schluss auf die zukünftige Entwicklung zulässt.

Die Veränderungen der Richtung des geostrophischen Windes

Neben der Geschwindigkeit des Windes hat seine Richtung einen besonderen Einfluss auf die Wasserstände der Deutschen Bucht. Auflandige Windrichtungen erhöhen die Wasserstände, ablandige Winde erniedrigen sie. Die Abbildung 4 zeigt die relativen jährlichen Häufigkeiten geostrophischer Windgeschwindigkeiten $>15 \text{ ms}^{-1}$ (entsprechend etwa Windstärke 6 Beaufort und mehr im realen Wind) für Windrichtungen aus dem NW-Sektor (270-360 Grad) und dem SE-Sektor (90-180 Grad). Wenn man bedenkt, dass der reale Wind über See gegenüber dem geostrophischen noch um etwa 10-20 Grad nach links gedreht ist, entspricht der NW-Sektor der Abb. 4 recht gut dem Winkelbereich, der in der Deutschen Bucht zu erhöhten Wasserständen führt (s. dazu auch Abb. 1).

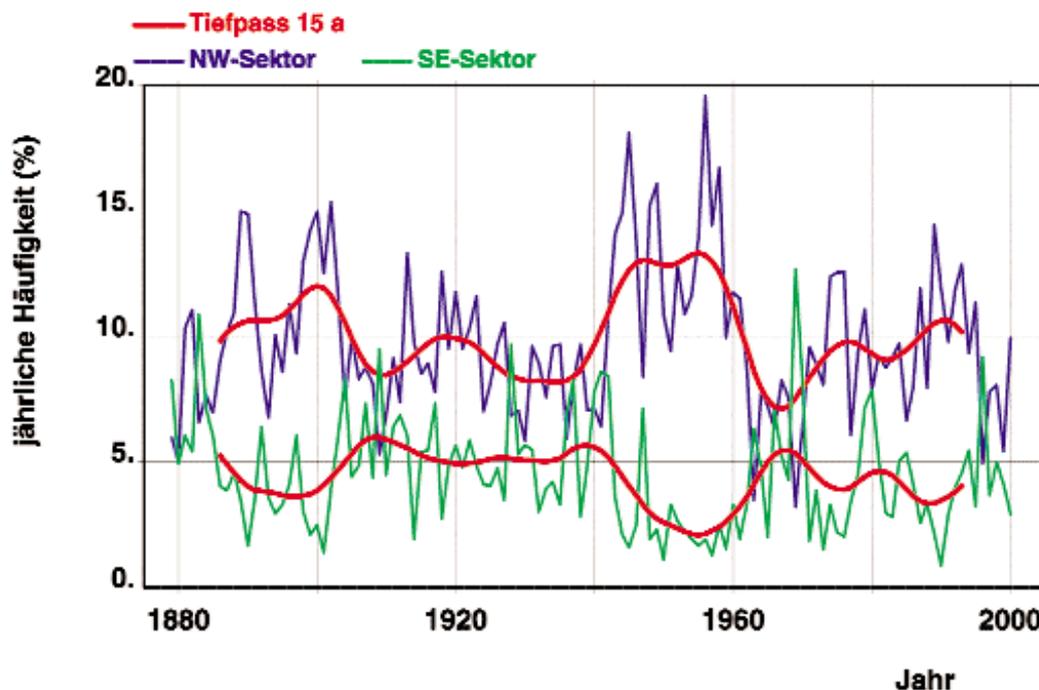


Abb. 4 Jährliche Häufigkeiten einer geostrophischen Windgeschwindigkeit von mehr als 15 ms^{-1} für nordwestliche (270-360 Grad) und südöstliche (90-180 Grad) geostrophische Windrichtungen.

Wiederum ist das Ergebnis, dass es zwar ausgeprägte Variationen mit dominanter langperiodischer Schwingung, aber keinen langzeitigen Trend gibt. Das schon in Abb. 3 erkennbare Maximum zwischen 1940 und 1960 erscheint hier für den NW-Sektor besonders herausgehoben. Bemerkenswert ist das weitere Ergebnis, dass sich die Häufigkeiten des SE-Sektors fast exakt gegenläufig zu denen des NW-Sektors verhalten.

Danksagung

Der Dank des Autors gilt den vielen Klimabeobachtern, die über etliche Generationen unermüdlich Daten erhoben und dokumentiert haben, ohne dass sie wissen konnten, welche Anforderungen heute an ihre Daten gestellt werden. Es bleibt zu hoffen, dass spätere Generationen über unsere heutigen Aktivitäten ebenso denken werden.

Literatur

Alexandersson H., Schmith T., Iden K., Tuomenvirta, H. (1998): Long-term variations of the storm climate over NW-Europe. *Global Atmos. Ocean Syst.* 6, S. 97-120

Alexandersson H., Tuomenvirta, H., Schmith, T., Iden, K. (2000): Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set. *Clim. Res.* Vol. 14, S. 71-73

Behrens K., Schmidt H. (1998): Geostrophic wind in the German Bight. Projekt-interner Bericht. Unveröffentlicht.

Schmidt H., von Storch H. (1993): German Bight storms analysed. *Nature*, Vol. 365, S. 791

Siefert W., Jensen J. (1993): Mean sea level at the German coast. *Marine Geodesy*, Vol. 16, S. 43-56