

2.4 Roaring Forties und Riesenwellen – Gefahren im Südpolarmeer

GERHARD SCHMAGER, BIRGER TINZ & PETER HUPFER

Roaring forties and freak waves – dangers of the Southern Ocean: The surface wind speeds in the Southern Ocean are often very high, causing large monthly average wind speeds. These circumpolar westerly winds are part of the cyclonic polar vortex in the Southern Hemisphere. In this contribution, we analyze wind speed and the resulting response of the ocean for the Polar regions based on an analysis of the ERA-Interim reanalysis data set. We present maps based on this data set that show the wind and sea state both in the austral and in the boreal winter. In austral winter, the roaring forties, furious fifties and shrieking sixties are fully developed. Corresponding to the frequency of storms appropriate high waves are found in this area. We also describe the main characteristics of the sea state and the resulting probability of very high waves. For shipping and other maritime activities, such waves, often called freak waves, with heights up to 35 m, are particularly dangerous. This phenomenon has been intensively investigated in the past. ECMWF now provides so called BFI-forecasts, which give a hint on ocean areas with freak wave potential. Some important freak wave characteristics together with examples are given. To this belong impressive reports on collisions of ships with such »killing waves«.

S ticht ein Schiff von Kapstadt aus mit Südkurs in See, so gelangt es nach baldigem Passieren des 40. Breitenkreises in das Südpolarmeer, das den antarktischen Kontinent ganz umschließt. In diesem südlichen Ozean treffen sich der Atlantische Ozean, der Indische Ozean und der Pazifik, wobei es zu einem gewaltigen Austausch von Wasser, Wärme und Beimengungen kommt. Darin liegt die planetarische Bedeutung des antarktischen Wasserrings.

Das Südpolarmeer ist heute relativ gut erforscht (s. Kap. 2.1 - FAHRBACH et al.). Es ist aber noch gar nicht so lange her, da wäre unser Schiff zum *mare incognita* aufgebrochen, zu einer Fahrt mit ungewissem Ausgang. Viele Schiffe sind schon verloren gegangen, auch heute noch sind Verluste infolge der Unbill der Naturverhältnisse zu beklagen. Das Südpolarmeer zeichnet sich durch besondere meteorologische und ozeanographische Verhältnisse aus. Dabei handelt es sich vor allem um extreme Wind- und Seegangbedingungen sowie in höheren südlichen Breiten um das Meereis. Die Windverhältnisse haben die Fahrleute mit dem Ausdruck »stürmische Westwinde« belegt, der für Nord- und Südhalbkugel gilt, im Süden aber eine ganz besondere Bedeutung hat. Denn die starken Winde zwischen 40 und 50 °S heißen seemännisch Roaring Forties (»brüllende Vierziger«), die zwischen 50 und 60 °S Furious Fifties (»wütende Fünfziger«) und schließlich südlich des Breitenkreises von 60 °S Shrieking Sixties (»kreischende Sechziger«).

Windverhältnisse

Die mittlere Windgeschwindigkeit

Entscheidende Strukturelemente der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre bilden die großen zirkumpolaren Wirbel im Norden und Süden, deren Achsen in erster Näherung der verlängerten Erdachse entspre-

chen. Diese reichen bis in die Stratosphäre und besitzen in der Troposphäre stets einen zyklonalen Drehsinn, d.h. die Rotation erfolgt auf der Nordhalbkugel (Südhalbkugel) gegen den (im) Uhrzeigersinn. Die Wirbel »atmen« im Jahresrhythmus:

Im Winter erstrecken sie sich mit maximaler Intensität weit äquatorwärts, im Sommer dagegen sind sie schwächer und geringer ausgedehnt. Der südliche zirkumpolare Wirbel ist stärker ausgebildet als sein nördliches Gegenstück (vgl. STEINRÜCKE 1998, HUPFER & KUTTLER 2005). Es sei erwähnt, dass die hochreichenden kalten Wirbel mit ihren besonders in der Höhe nur kleinen meridionalen Windkomponenten in der Stratosphäre weitestgehend isolierte »Reaktionsgefäße« bilden, in denen es bei sehr niedrigen Temperaturen und Dunkelheit zum Ozonabbau und damit zur Ausbildung von »Ozonlöchern« kommen kann. Am Boden herrschen im Bereich dieser Wirbel im Mittel Westwinde zwischen der subpolaren Tiefdruckrinne zwischen 60° und 70° (im Süden) und dem Hochdruckgürtel im Bereich von 30° Breite vor. Wegen der aerodynamisch glatten Meeresoberfläche sind die Westwinde über See stärker und kaum von der West-Ost-Richtung abgelenkt, anders als es wegen der viel höheren Dissipation von Bewegungsenergie über Landflächen der Fall ist.

Diese günstigen Bedingungen für die volle Entfaltung starker und beständiger Westwinde sind im Südpolarmeer rings um den antarktischen Kontinent gegeben. Die Klimacharakteristika für Wind und Seegang in diesen Gebieten wurden von den Autoren dieses Beitrags aus dem ERA-Interim-Datensatz (DEE et al. 2011) ermittelt. In Abb. 2.4-1 sind Monatsmittel der Windgeschwindigkeit im globalen Maßstab für den Hochwinter auf der Nordhalbkugel (Januar) bzw. der Südhalbkugel (August) wiedergegeben. Ein Gürtel mit Monatsmitteln der Windgeschwindigkeit von

8 m/s (29 km/h) und mehr umspannt die Südhalbkugel zwischen 30 und 75 °S. Ähnliche Bedingungen sehen wir auch im Winter für Nordpazifik und Nordatlantik auf der Nordhalbkugel. Gebiete, in denen Monatsmittel der Windstärke von 6 Bft (Geschwindigkeit $\geq 10,8$ m/s) und mehr auftreten, nehmen auf Grund des zirkumpolaren Wasserrings im Südpolarmeer eine deutlich größere Fläche ein als auf der Nordhalbkugel. Ein Gürtel mit Monatsmitteln der Windgeschwindigkeit von 10 m/s und mehr bedeckt im Winter fast alle Regionen des Südpolarmeeres.

Hohe mittlere Windgeschwindigkeiten sind auch für die Drake-Straße charakteristisch, wo das berühmt-berüchtigte Kap Hoorn an der südlichsten Spitze Südamerikas schon lange zum Synonym gefährlicher Wind- und Seegangsbedingungen für die Schifffahrt geworden ist.

Die Unterschiede zwischen Nord- und Südhalbkugel werden auch in *Abb. 2.4-2* ersichtlich, die die Isoplethendarstellungen des Windes entlang 40,5 °W (Nordhalbkugel) und 90 °O Südhalbkugel zeigt. Während auf der Nordhalbkugel (*Abb. 2.4-2* oben) in allen geographischen Breiten ein deutlicher Jahresgang erkennbar ist, weht der Wind auf der Südhalbkugel in einem Gürtel zwischen 45 und 55 °S sehr beständig mit Geschwindigkeiten von 11 m/s und mehr. Für 2 Positionen, die auf diesen Schnitten liegen (s. *Abb. 2.4-1*) sind die Jahresgänge der mittleren Windgeschwindigkeit dargestellt (s. *Abb. 2.4-3*); sie bestätigt, dass im Südpolarmeer günstige Bedingungen für die volle Entfaltung starker und beständiger Westwinde rings um den antarktischen Kontinent gegeben sind.

Die Sturmhäufigkeit

Für die Seefahrt und andere maritime Aktivitäten sind indes nicht die mittleren Windgeschwindigkeiten entscheidend, sondern die Frage, wie oft mit Starkwinden, Stürmen und Orkanen zu rechnen ist. In der Meteorologie versteht man unter Sturm einen heftigen Wind mit Geschwindigkeiten von 20,8 bis 32,6 m/s (75–117 km/h, Windstärken (9–11 Bft) (Windstärkeskala nach Beaufort). Bei Windge-

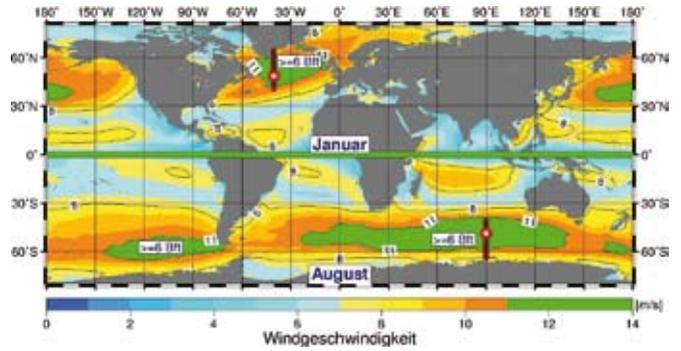


Abb. 2.4-1: Monatsmittel Windgeschwindigkeit (m/s) im Januar (Nordhalbkugel) bzw. August (Südhalbkugel) (Eigene Darstellung - Datenquelle: ERA-Interim – 1989-2012).

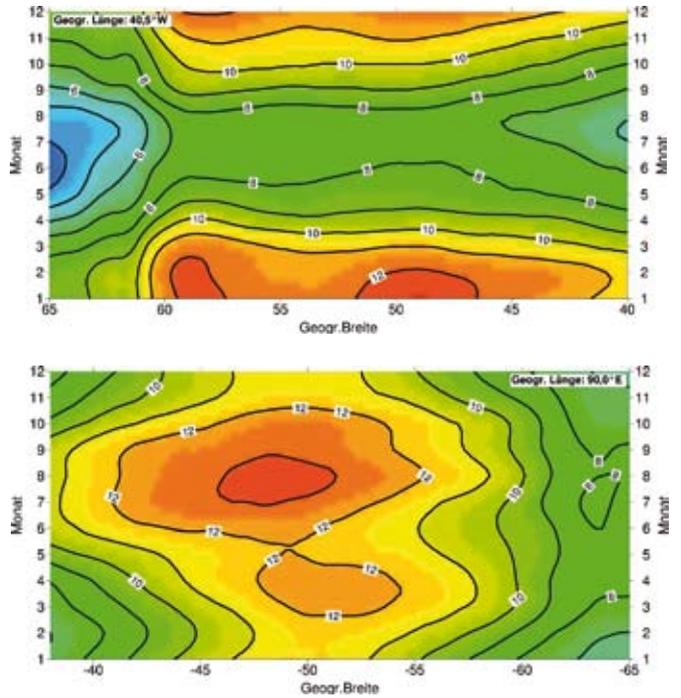


Abb. 2.4-2: Jahresgang der Windgeschwindigkeit auf einem Schnitt 40 bis 65 °N (oben) und 40 bis 65 °S (unten).



Abb. 2.4-3: Jahresgang der Windgeschwindigkeit (Monatsmittel) auf der Nordhalbkugel (40,5 °W - 51,0 °N) bzw. Südhalbkugel (90,0 °O - 51,0 °S).

schwindigkeiten ab 32,7 m/s (ab 118 km/h, Windstärke 12 Bft) spricht man von Orkanen, die hauptsächlich über See vorkommen.

Aufgrund noch immer geringen, insbesondere räumlich inhomogenen Datenmaterials sind statistische Auswertungen über die Sturmhäufigkeit in dieser Region problematisch.

Die aus dem ERA-Interim-Datensatz (1979-2012) abgeleiteten Maxima der Windgeschwindigkeiten auf Süd- bzw. Nordhalbkugel sind in *Tab. 2.4-1* zusammengefasst. Erwartungsgemäß sind die Windgeschwindigkeiten auf der Südhalbkugel am größten mit einem wenig ausgeprägten Jahresgang, während im Nordsommer (April bis August) Windgeschwindigkeiten von mehr als 35 m/s nicht beobachtet werden.

Die globale Verteilung der Windmaxima im jeweiligen Wintermonat zeigt *Abb.2.4-4*. Sowohl auf der Nord- als auch Südhalbkugel zeigt sich für die Wintermonate, dass die Breitenkreise von 30° die nördlich bzw. südliche Grenze für Windgeschwindigkeiten von 20 m/s (9 Bft) und mehr sind.

Analysen des DWD lieferten für ein Gebiet (45-50 °S, 10-20 °O) eine relative Sturmhäufigkeit von 25%, was mit Werten von 15% bis 30% durch die »Pilot Charts« bestätigt wird.

Somit erweist sich das Seegebiet um Antarktika als ausgesprochen wind- und sturmreich, und es kann erwartet werden, dass sich diese Tatsache in den Seegangsverhältnissen widerspiegelt.

Seegang

Entstehen und Vergehen von Windwellen

Meereswellen, die unter dem Einfluss des lokalen Windfeldes entstehen, werden als Windsee bezeichnet. Nimmt der Wind ab, so ändern sich die Charakteristika (Höhe, Länge, Periode und Energiespektrum) der Wellen, die eine mehr regelmäßige Form bekommen und sich über Hunderte bis Tausende von Kilometern im Ozean verlagern können. Dieser Seegang wird als Dünung bezeichnet (s. *Abb. 2.4-5*). Im Weltozean kommen Dünung und Windsee meist gleichzeitig vor und bilden den Seegang. Betrachtet man eine winderregte Meeresoberfläche, so nimmt man eher wellen-

artige, chaotisch anmutende Bewegungen wahr (*Abb. 2.4-14*) und es ist wenig offensichtlich, dass sich der reale Seegang aus einer Vielzahl harmonischer Wellen unterschiedlicher Länge, Höhe, Periode und Fortpflanzungsrichtung zusammensetzt. Aus *Abb. 2.4-6* ist ersichtlich, welcher Wellenzug aus der Superposition von vierzehn harmonischen Wellen entstehen kann.

Die Messung von Seegangsparametern erfolgt sowohl *in situ* durch Seegangsbojen als auch unter Einsatz verschiedener Fernerkundungsverfahren, z.B. Schiffsradar (HESSNER et al. 2007) oder Synthetic Aperture Radar (XIAOMING LI et al. 2011). Diese Verfahren liefern das Energiespektrum des Seegangs, aus denen die Verteilung der Wellenenergie in Abhängigkeit von der Periode (Frequenz) und Wellenrichtung hervorgeht. Kennzeichnende oder signifikante Wellenhöhe u.a. für die Praxis der Beobachtung und Vorhersage des Seegangs interessierende Größen lassen sich hieraus ableiten. Dabei ist die signifikante Wellenhöhe definiert als Mittelwert aus dem höchsten Drittel aller Wellenbeobachtungen.

Genügend Wassertiefe (Tiefwasser, d.h. Wassertiefe mehr als ein 100faches der Wellenhöhe) vorausgesetzt, steht die maximale zur signifikanten Wellenhöhe in einer festen Beziehung. Die höchsten Wellen in einem Seegangsfeld sind um den Faktor 2–3 größer als die signifikante Wellenhöhe. Wenn bspw. die signifikante Wellenhöhe 5 m beträgt, so sind maximale Wellenhöhen von 10–15 m im Seegangsfeld nicht auszuschließen (s. unten). Jedes Seegangsfeld durchläuft eine bestimmte Entwicklung (*Abb. 2.4-5*). Im jungen Seegang dominieren die kürzeren Wellenanteile und es wird dem Seegang durch den Wind mehr Energie zugeführt als er durch Dissipation wieder abgibt. Im voll entwickelten Seegang ist die Energiebilanz gerade ausgeglichen, während im vergehenden Seegang nicht nur die Dissipation überwiegt, sondern auch die schnell laufenden langen Wellenanteile (Dünung). Um einen voll entwickelten Seegang zu erreichen, müssen eine hinreichende Windwirklänge (fetch) und eine entsprechend lange Windwirkdauer gewährleistet sein. Im Südpolarmeer ist die Windwirklänge faktisch unbegrenzt. Auch die Windwirkdauer ist im Allgemeinen groß genug, um eine gereifte Windsee zu ermöglichen.

Tab. 2.4-1: Maxima der Windgeschwindigkeit (ERA-Interim 1989-2012)

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Gebiet	Maxima der Windgeschwindigkeit (m/s)											
Südhalbkugel	37,5	38,9	34,8	35,6	43,3	38,7	41,1	43,6	41,4	38,4	35,6	36,0
Nordhalbkugel	42,6	41,5	41,7	34,8	33,3	33,3	26,7	29,6	37,6	38,8	40,5	41,2

Im realen Fall handelt es sich aber um zirkumpolar wandernde Sturmtiefs, in deren Bereich sich die Windrichtung in charakteristischer Weise ändert. Dementsprechend gibt es vielfältige Überlagerungs- und Entwicklungsmöglichkeiten für die Wellen. Es handelt sich beim Seegang also um eine sehr komplexe Naturerscheinung, die auch den Forschern noch manche Rätsel aufgibt.

Die mittleren Wellenhöhen

In Abb. 2.4-7 ist die globale Verteilung der Monatsmittel der signifikanten Wellenhöhen für den Monat

Januar (Nordhalbkugel) bzw. August (Südhalbkugel) dargestellt. Es ist klar zu sehen, dass sich die Seegebiete südlich Südamerikas, Afrikas und Australiens flächendeckend selbst im Monatsmittel durch große Wellenhöhen mit Maximalwerten von mehr als 4 m auszeichnen. Die höchsten Werte liegen im Bereich der »Roaring Forties« und der »Furious Fifties« im südlichen Indischen Ozean. Die Monatsmittel auf der Nordhalbkugel erreichen im Januar »nur« Maxima von 4,5 m. Diese Verteilung der Wellenhöhen in Abb. 2.4-7 korrespondiert mit den mittleren Windverhältnissen (s. Abb. 2.4-1), wo ein ausgedehntes Gebiet starker und

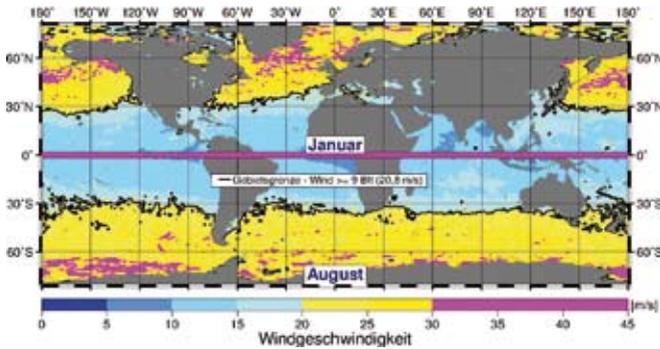


Abb. 2.4-4: Globale Verteilung der Windmaxima (Eigene Darstellung - Datenquelle: ERA-Interim 1989-2012).

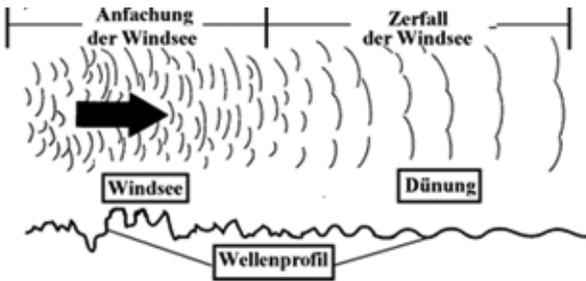


Abb. 2.4-5: Schematische Darstellung von Windsee und Dünung (aus: PINET 1992).

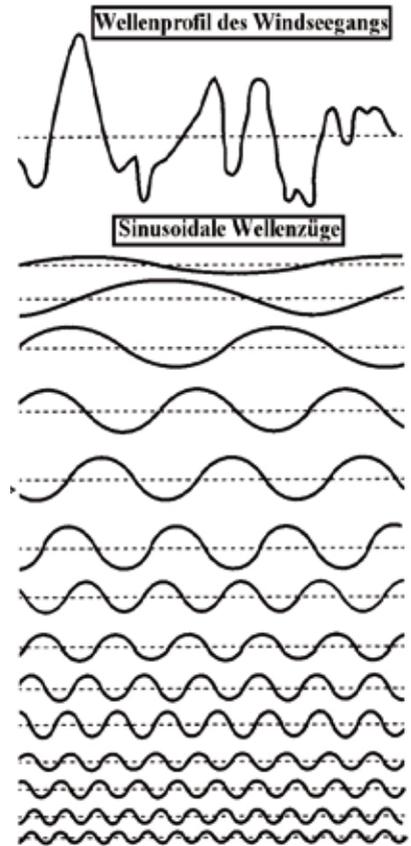
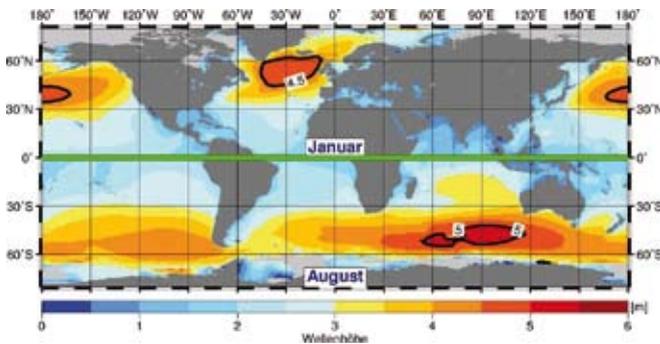


Abb. 2.4-6: Lineare Superposition von vierzehn harmonischen Wellen. Es entsteht der oben dargestellte Wellenzug (aus: PINET 1992).

Abb. 2.4-7: Monatsmittel der signifikanten Wellenhöhe (m) im Januar (Nordhalbkugel) bzw. August (Südhalbkugel) (Eigene Darstellung - Datenquelle: ERA-Interim 1989-2012).

beständiger Winde diesen extrem hohen Seegang auf der Südhalbkugel erzeugt. In ähnlicher Weise wie für den Wind (Abb. 2.4-3) zeigt Abb. 2.4-8 die Verteilung der Wellenhöhe auf 2 Positionen der Nord- bzw. Südhalbkugel.

Nahe der Küste Antarktikas und in Gebieten mit Eisbedeckung nehmen die Wellenhöhen ab. Die Verteilung der höchsten Wellen zeigt Abb. 2.4-9. Überraschenderweise liefert ERA-Interim auf der Nordhalbkugel größere Gebiete mit Wellenhöhen von 14 m und mehr, besonders südlich Islands, was durchaus in Übereinstimmung mit den Jahrhundertwellen in Abb. 2.4-13 steht. Auf der Südhalbkugel sind im Bereich der Furious Fifties nur einzelne Spots mit Wellenhöhen von 14 m und mehr zu entdecken. Aus dem ERA-Interim-Datensatz wurden Maxima der signifikanten Wellenhöhe für die Gebiete zwischen 40 und 80 °N bzw. 40 und 80 °S ermittelt (Tab. 2.4-2). Mit Maxima von 16,8 m ist der Seegang im Nordatlantik in Gebieten südöstlich (Januar) bzw. südwestlich (Dezember) von Island am höchsten. Seegang mit Wellenhöhen um 16 m ist im Südpolarmeer am ehesten in den Seegebieten südlich Australiens zu erwarten.

Berücksichtigt man, dass die höchsten Wellen im Seegangsfeld die signifikante Wellenhöhe um ein Mehrfaches übertreffen, so kann mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass Wellen mit einer Höhe von 30 bis 40 m nicht nur im zirkumpolaren Wasserring, sondern auch auf der Nordhalbkugel vorkommen (s. Abschnitt: Besonders hohe Wellen).

Das maritim-meteorologische Datenarchiv des Deutschen Wetterdienstes in Hamburg enthält geprüfte Wetterbeobachtungen, die unter Anleitung und mit gerätemäßiger Ausstattung der Wetterdienste von Handelsschiffen auf allen Weltmeeren erhoben werden.

Aus diesen Daten wurden u.a. für das Seegebiet südwestlich des Kaps der Guten Hoffnung folgende Charakteristika für Wind und Seegang ermittelt. Das Monatsmittel für die Windstärke ist 6 Bft (10,8-13,8 m/s) und für den Seegang wurden 2,8 m Wellenhöhe bestimmt (s. SCHMAGER et al. 2007). Dabei zeigen sowohl Wind als auch Seegang keinen ausgeprägten Jahresgang, was mit den Ergebnissen aus der Analyse des ERA-Interim-Datensatzes übereinstimmt.

Eine andere Möglichkeit, Informationen über

Wind- und Seegangsverhältnisse aus datenarmen Gebieten zu erhalten, ist die Nutzung der Ergebnisse von numerischen Wettervorhersagemodellen, an die Seegangsmodelle gekoppelt sind bzw. solcher Datensätze wie ERA-Interim. Abb. 2.4-10 zeigt ein typisches Beispiel einer Seegangsvorhersage aus dem Seegebiet um Kap Hoorn. Im Bereich des östlich von den Südsandwich-Inseln liegenden Sturmtiefs mit einem Kerndruck von 968 hPa zirkuliert die Luft zyklonal (im Uhrzeigersinn, da Südhalbkugel) um den Kern. Im Bereich der Drake-Straße und weiter nordöstlich wird mit 40 kn (8–9 Bft) die höchste mittlere Windgeschwindigkeit prognostiziert. Hier finden sich auch die höchsten signifikanten Wellenhöhen von 7 m (maximale Wellenhöhe dann 15–20 m).

Besonders hohe Wellen

Die Existenz von Riesenwellen im Ozean (freak waves, in den Medien auch als Killer- oder Monsterwellen bezeichnet) ist zwar im Prinzip schon lange bekannt, aber Geheimnis umwoben und wurde häufig als Seemannsgarn belächelt. Auch in der Prosaliteratur und im Film (»Der Sturm« vom Regisseur Wolfgang Peterson) spielt die »Siebente Welle« eine Rolle. Eine Reihe von Schiffsunfällen und von modernen Satelliten gestützte Überwachungsmethoden für den Ozean erbrachten jedoch den Beweis, dass exzeptionelle Wellenhöhen im Weltmeer tatsächlich auch über tiefem Wasser existieren, so dass man sich deren Erforschung nun eingehend widmet. Hierfür leisten seit einigen Jahren satellitengestützte Beobachtungssysteme mit Erfolg wertvolle Dienste. Am 21. Juli 2004 teilte die ESA mit (http://www.esa.int/esaCP/SEMOKQL-26WD_index_0.html – Stand 16.09.2013), dass es nach Auswertung von ERS-2 SAR Bildern gelungen ist, Monsterwellen von 29,8 m Höhe (44,6 °S und 7,1 °O) zu identifizieren. Dabei wurde ermittelt, dass diese Welle nahezu 3 mal (exakt 2,9) so hoch war wie die signifikante Wellenhöhe (Abb. 2.4-12).

Wie aus dem vorigen Abschnitt hervorgeht, kommen in jedem Seegangsfeld besonders hohe Wellen vor, deren Höhe in einer festen Relation zur signifikanten Wellenhöhe steht. Somit muss in all den Seegebieten mit hinreichender Windwirkdauer und großer

Tab. 2.4-2: Maxima der signifikanten Wellenhöhen (ERA-Interim 1989-2012).

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Gebiet	Maxima der signifikante Wellenhöhen (m)											
Südhalbkugel	13,1	14,0	14,8	13,9	14,9	14,8	15,1	16,0	14,9	14,8	14,4	14,8
Nordhalbkugel	16,8	16,4	16,2	13,3	11,4	9,2	9,1	10,1	13,5	15,5	15,4	16,8

Windwirklänge damit gerechnet werden, dass Wellenhöhen von 15–20 m nicht ungewöhnlich sind.

CAIRES et al. (2005) haben eine globale Wellenklimatologie auf der Grundlage von Seegangsvorhersagen erarbeitet und die höchsten signifikanten Wellenhöhen berechnet, die mindestens einmal in einem 100jährigen Zeitraum auftreten können. Abb. 2.4-13 zeigt das Ergebnis. Lässt sich die von der ESA gefundene Relation über die Höhe von Monsterwellen und signifikanten Wellen auf diese Statistik übertragen, so erhält man für ein Gebiet südöstlich von Kapstadt (55 °S, 50 °O) gigantische Wellen, die 30–50 m hoch sein können. Wie aber kommt es zu Wellen mit etwa doppelter oder gar dreifacher Höhe? Nach Beobachtungen, Rechnungen und Experimenten in Wellentanks können als Ursachen in Betracht gezogen werden:

- Wellenkonvergenz im Seegangsfeld. In einem Seegangsfeld haben die Partialwellen unterschiedliche Geschwindigkeiten. Dünungswellen laufen viel schneller als kurze Wellen. Kommt es nun zu einer Konstellation, bei der schnellere Wellen auf langsamere treffen, so kann diese Konvergenz zu einem Aufsteilen des Wassers und damit zur Bildung von Riesenwellen führen. Wellen unterschiedlicher Länge reichen mit ihren Orbitalbewegungen unterschiedlich tief in das Meer hinein, so dass daraus Geschwindigkeitsunterschiede und Konvergenzerscheinungen resultieren.
- Besonders hohe Wellen, wie sie - wie oben dargelegt - unter dem Einfluss lang anhaltender Stürme in ausgedehnten Seegebieten auftreten, können sich weiter vergrößern, wenn eine Situation eintritt, in der die Windgeschwindigkeit gerade so groß ist wie die Geschwindigkeit der hohen Wellen im Seegangsspektrum.
- Trifft ein winderregtes ozeanisches Wellenfeld auf eine Strahlströmung im Ozean (enge gebündelte Strömungen hoher Geschwindigkeit der Größenordnung 102 cm/s), so kann es zu Wechselwirkungen zwischen der kinetischen Energie der Strömung und der Wellenenergie kommen, wobei Wellenrefraktion



Abb. 2.4-8: Jahresgang der signifikanten Wellenhöhe (Monatsmittel) auf der Nordhalbkugel (40,5 °W; 51,0 °N) bzw. Südhalbkugel (90,0 °O, 51,0 °S).

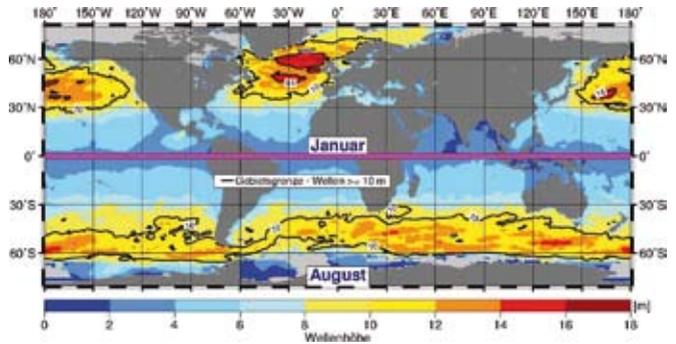


Abb. 2.4-9: Globale Verteilung der Maxima der signifikanten Wellenhöhen (Eigene Darstellung - Datenquelle: ERA-Interim 1989-2012).

eintritt und schließlich in den Fällen, in denen die Richtung der Wellen entgegengesetzt zur Richtung der Meeresströmung verläuft, Riesenwellen gebildet werden (Region des Agulhas-Strom vor Südafrika).

Internationale und transdisziplinär zusammengesetzte Forschergruppen haben im Rahmen des EU-Programms Maxwave und Nachfolgeprojekten begonnen, das Wesen der Riesenwellen genauer zu klären. Dabei geht es um die Erfassung aller vorhandenen Beobachtungen, Feststellung der Bedingungen der Riesenwellenentstehung sowie Einschätzung der diesbezüglichen Gefährlichkeit der verschiedenen Seegebiete. Die Erkenntnisse sollen in die Bauvorschriften für Hochseeschiffe und marine Bauwerke wie Ölplattformen münden, die bisher nur für die »normalen« höchsten Wellen ausgelegt sind. Schließlich geht es um die Einbeziehung der Satelliten gestützten Fernerkundung in die Ozeanüberwachung bezüglich des Erscheinens von Riesenwellen und – gewissermaßen als »Kronung« – um die Entwicklung von Vorhersagemethoden (ROSENTHAL & LEHNER 2004).

Eine Möglichkeit, Gebiete zu identifizieren, in denen das Potenzial zur Ausbildung von Killerwellen vorhanden ist, bieten die Vorhersagen des Benjamin-Feir-Index vom ECMWF (JANSSEN 2008), wovon Abb. 2.4-11 ein Beispiel zeigt.

Gefahren für die Schifffahrt

Schiffsverluste sind in unserer Zeit häufiger als landläufig angenommen. Erheischen sie doch nicht so viel Aufmerksamkeit in den Medien, da nichts zurück bleibt und Berichte daher eher unspek-

takulär wirken. Zudem sind die Versicherungsgesellschaften und Reedereien an einer Publizität nicht sonderlich interessiert. So sollen in den letzten ca. 20 Jahren mehr als 200 Supertanker und Containerschiffe mit mehr als 200 m Länge unter »schweren Wetterbedingungen« – wie es in den offiziellen Feststellungen heißt – untergegangen sein. Es ist mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass Riesenwellen an diesen Unglücksfällen entscheidenden Anteil haben (MÜLLER et al. 2005).

Der früher bekannte Wellenforscher Graf von Larisch-Moenich hat schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts Bekanntheit mit Riesenwellen gemacht und diese anschaulich beschrieben (LARISCH-MOENICH 1925, S. 150f, s. Abb. 2.4-14): »Wir sind auf Segler ‚Posen‘ mehrere Tage lang vor Untermarssegel begedreht gelegen, ohne die Möglichkeit, irgendeinen Fortgang zu machen. Ein Sturm folgte dem anderen; wenn einer vorüber war, hatten wir öfter stundenlang Windstille, bis dann plötzlich ein neuer hereinbrach. ... Die ganze Luft war elektrisch geladen. Am schwarzen Nachthimmel loderte es auf in glühender Pracht. ... Über das himmlische Flammenspiel brach dann der Sturm mit orkanartiger Gewalt herein und brachte uns in seinem Verlauf einen Seegang von phänomenaler Größe. ... Wenn man oben auf dem Rücken eines Wogengiganten war, blickte man wie auf eine wild zerklüftete Gebirgslandschaft, in der wandernde Berge in langen Reihen einherzuziehen schienen, und wenn das Schiff in die ungeheueren Abgründe der Wellentäler versank, sah man dicht vor Augen den nächsten Riesen auftürmen, himmelhoch, schaumgekrönt, unwiderstehlich. Mit dem Schiffe spielte die See wie mit einem Ball. ... Es war der höchste Seegang, den ich je gesehen habe. ... Man musste sich festbinden, um überhaupt an Deck bleiben zu können und auch so war es unmöglich in den Böen auch nur den Kopf gegen den Wind zu halten«. Über einen glücklich überstandenen Zusammenprall mit einer Riesenwelle in unserer Zeit im Gebiet der »Roaring Forties« sind wir

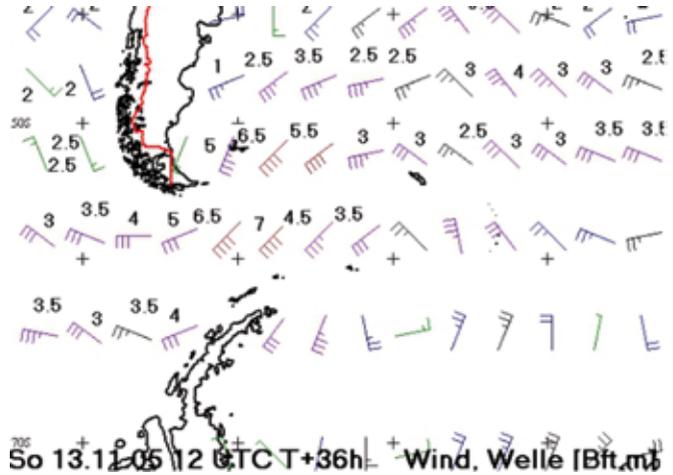


Abb. 2.4-10: Vom globalen Modell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) vorhergesagter Wind in 10 m Höhe (Fieder) und signifikante Wellenhöhe in m. Modelllauf vom 12.11.2005 00 UTC, Vorhersagezeitraum 36 h, Vorhersagezeitpunkt 13.11.2005 12 UTC. Visualisierung: MetMaster - BRUNS (2006).

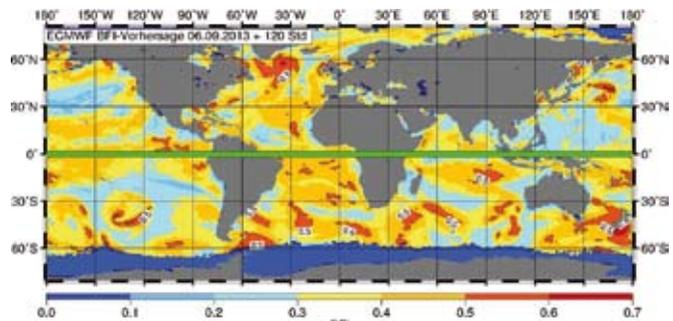


Abb. 2.4-11: ECMWF Vorhersage des Benjamin-Feir-Index (Daten: ECMWF).

gut unterrichtet (<http://de.wikipedia.org/wiki/Monsterwelle> - Stand 13.09.2013)

Am 22. Februar 2001 geriet das 110 m lange Luxus-Kreuzfahrtschiff »Bremen« mit 137 gut betuchten Passagieren im Südatlantik-Sektor auf ca. 46 °S, 39 °W in einen anhaltenden Orkan. Plötzlich taucht eine Riesenwelle mit einer geschätzten Höhe von 35 m wie eine hochragende Wasserwand vor dem Schiff auf. Als die Welle das Schiff erreicht hat, platzen die Brückenfenster, wodurch Wasser einbricht und die Bordelektronik ebenso wie die Maschinenanlage zum Ausfall bringt. Das manövrierunfähige, dadurch quer zu den anrollenden Wellen hin und her schlingernde Schiff war in diesem einsamen Seegebiet in Seenot geraten. Die Schlagseite betrug 40°. Nach unendlich erscheinenden 30 Minuten konnte das Schiff seine Fahrt fortsetzen und gelangte nach einigen Tagen nach Buenos Aires, wo es durch mittlerweile eingeflogenes deutsches Personal repariert wurde. Alles spielte sich weitgehend verborgen vor der Öffentlichkeit ab.

Als sehr gefährdet durch Riesenwellen gelten auch die Offshore-

Bohrinseln. So wurde am 1. Januar 1995 die Nordsee-Plattform »Draupner« von einer Riesenwelle getroffen, die eine durch Messung ermittelte Höhe von 26 m aufwies. Riesenwellen sind also eine universelle Erscheinung im Weltmeer und eine große Gefahr. Aber nicht nur Seegang mit Wellen von extremer Höhe und Form kann zu einer Gefahr für Schiff und Besatzung werden. Wie eingangs beschrieben, setzt sich Seegang nicht nur aus Wellen unterschiedlichster Länge, Höhe und Periode zusammen. In solch unendlichen Weiten wie dem Südpolarmeer kommt der Seegang aus unterschiedlichen Gebieten und kann unter bestimmten Umständen selbst bei moderaten Wellenhöhen ein Schiff in Gefahr bringen. Mit solchem Seegang machte das Forschungsschiff »Polarstern« am 07. März 2009 auf der Fahrt nach Punta Arenas Bekanntschaft, als es zu heftigem Rollen angeregt wurde. BRUNS et al. (2011, S. 369/370) schildern die Situation wie folgt: »Although the vessel was far from tipping over (which becomes possible at angles exceeding 45°), the inclination was large enough to let furniture slip across the floor and force people to cling to anything that was available«. Das Ereignis, das durch parametrisches Rollen – einem Wechselspiel von Schiffseigenbewegung und Seegang – verursacht wurde, ist von BRUNS et al. (2011) umfassend ausgewertet worden.

Schlussbemerkung

Die hier interessierenden Seegebiete sind bis auf bestimmte Areale südlich Afrikas weitgehend ohne reguläre Schifffahrt. Forschungsschiffe sind im Allgemeinen sowohl instrumentell als auch vom »know how« so ausgerüstet, dass sie gefährlichen Situationen ausweichen können, wenngleich sie auch nicht davor gefeit sind (s. RV »Polarstern«). Zunehmend fahren jedoch Kreuzfahrtschiffe in die Nähe Antarktikas, dem Trend folgend, möglichst abgelegene Gebiete touristisch zu bereisen. Obige Beispiele zeigen die Gefahren, die damit verbunden sein können.

Wie sich die Seegangssituation und damit auch die Entstehungsmöglichkeiten

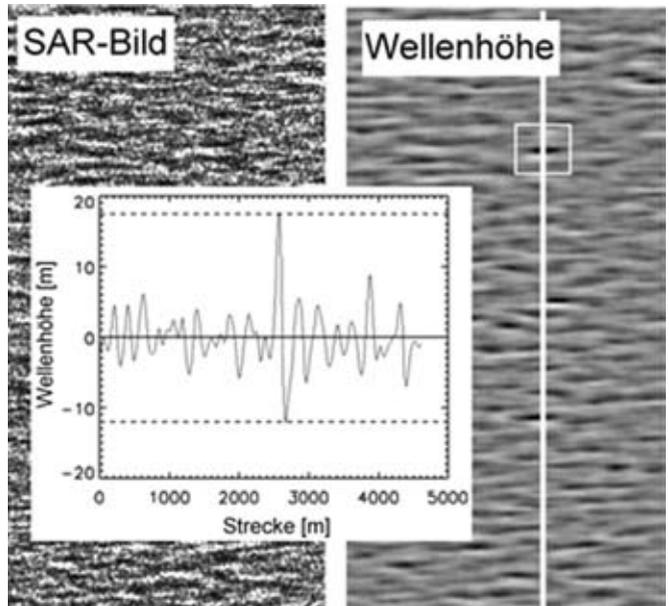


Abb. 2.4-12: Synthetic Aperature Radar (SAR) – Bild und zugehörige Wellenhöhe. Mit eingefügt ist das Diagramm mit einer sehr hohen Wellenhöhe von 29,8 m (entlang der weißen Linie). Quelle: S. LEHNER, DLR, aus BRUNS (2006).

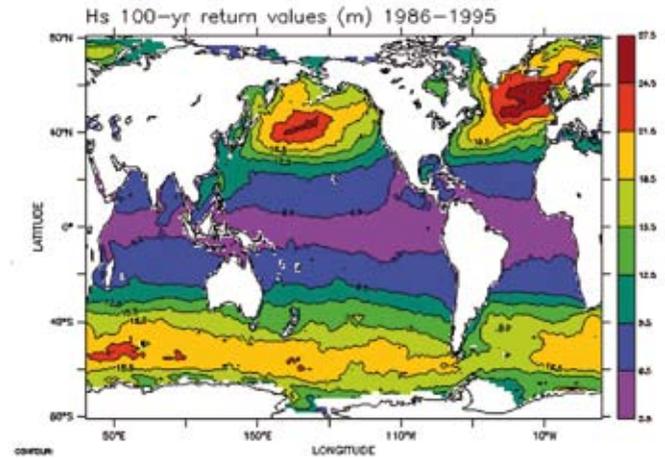


Abb. 2.4-13: Maxima der signifikanten Wellenhöhe für ein Wiederholungsintervall von 100 Jahren, berechnet aus Seegangsvorhersagen für den Zeitraum 1986-1995 1995 (Quelle: <http://www.knmi.nl/waveatlas/license.cgi> - Stand 16.09.2013).

von Riesenwellen in Zukunft unter den Bedingungen des Klimawandels ändern werden, ist äußerst schwierig abzuschätzen. Die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre wird in diesem Zusammenhang Änderungen erfahren, inwieweit die Häufigkeit singulärer Erscheinungen wie die der Riesenwellen betroffen sein wird, ist ungewiss.



Abb. 2.4-14: Sehr hohe Wellen im subantarktischen Meer. Aus LARISCH-MOENNICH (1925). Dort heißt es zu diesem Bild auf S.144: »Am 20. Februar 1909 in 58°21' südl. Br. 73°36' w.L. wurde bei Wind West 11-12 eine Wellenhöhe von 14 m und eine Länge von 220-250 m gemessen.«

Literatur

- ATLAS OF PILOT CHARTS (2013): http://msi.nga.mil/NGAPortal/MSI.portal?_nfpb=true&_st=&_pageLabel=msi_portal_page_62&pubCode=0003 – Stand 16.09.2013.
- BRUNS, TH., S. LEHNER, XIAO-MING LI, K. HESSNER & W. ROSENTHAL (2011): Analysis of an event of “Parametric Rolling” on board RV “Polarstern” based on shipborne wave radar and satellite data. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, VOL. 36, No. 2, April 2011, 364-372.
- BRUNS, TH. (2006): Monsterwellen. In: DMG (Hrsg.): *Meteorologischer Kalender 2006*, Deutsche Meteorologische Gesellschaft, Berlin.
- CAIRES S., STERL A., KOMEN G. & V. SWAIL (2005): Global wave climatology atlas derived from 45-years of ECMWF reanalysis data. <http://www.knmi.nl/wave-atlas>.
- DEE, D. P., S. M. UPPALA, A. J. SIMMONS, P. BERRISFORD, P. POLI, S. KOBAYASHI, U. ANDRAE, M. A. BALMASEDA, G. BALSAMO, P. BAUER, P. BECHTOLD, A. C. M. BELJAARS, L. VAN DE BERG, J. BIDLOT, N. BORMANN, C. DELSOL, R. DRAGANI, M. FUENTES, A. J. GEER, L. HAIMBERGER, S. B. HEALY, H. HERSBACH, E. V. HÓLM, L. ISAKSEN, P. KALLBERG, M. KÖHLER, M. MATRICARDI, A. P. MCNALLY, B. M. MONGE-SANZ, J.-J. MORCRETTE, B.-K. PARK, C. PEUBEY, P. DE ROSNAY, C. TAVOLATO, J.-N. THÉPAUT & F. VITART (2011): The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 553–597, April 2011.
- HESSNER, K. & K. REICHERT (2007): Sea surface elevation maps obtained with a nautical X-Band radar – Examples from WaMoS II stations. 10th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting and Coastal Hazard Symposium in North Shore, Oahu, Hawaii, November 11-16.
- HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.) (2005): *Witterung und Klima*. 11. Auflage. B. G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden 2005, 145-167.
- JANSSEN, P. A. E. M. (2008): Progress in ocean wave forecasting *Journal of Computational Physics* 227 (2008) 3572–3594.
- LARISCH-MOENNICH, GRAF VON F. (1925): *Sturmsee und Brandung*. Monographien zu Erdkunde 33, Verlag von Velhagen und Klasing, Bielefeld und Leipzig, 1925. 186 S.
- MÜLLER, P., CH. GARRET & A. L. OSBORNE (2005): Rogue Waves. *Oceanography*, Vol. 18, No3, Sept. 2005, 66-75.
- PINET, P. R (1992): *Oceanography, an introduction to the planet oceanus*, 1992, West Publishing Company St. Paul/MN, XIV. ISBN 0-314-77008-9. 571 S.
- ROSENTHAL, W. & S. LEHNER (2004): Results from the MAXWAVE Project, Proc. OMAE 2004, Vancouver 2004, 9 S.
- SCHMAGER, G., B. TINZ & P. HUPFER (2006): Roaring Forties und Riesenwellen – Gefahren im Südpolarmeer. In: José L. Lozán, Hartmut Graßl, Hans-W. Hubberten, Peter Hupfer, Ludwig Karbe & Dieter Piepenburg (Hrsg.), *Warnsignale aus den Polarregionen*. Wissenschaftliche Auswertungen. 80-85.
- STEINRÜCKE, J. (1998): Die Bedeutung der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre und der Ozeane für das Klima. In: LOZÁN, J. L., H. GRAßL & P. HUPFER (Hrsg.): *Warnsignal Klima*. Wissenschaftliche Fakten. Wiss. Auswertungen, Hamburg 1998, 25-30
- XIAOMING LI, S. LEHNER & TH. BRUNS (2011): Ocean Wave Integral Parameter Measurements Using Envisat ASAR Wave Mode Data. *Geoscience and Remote Sensing* 49(1-1): 155-174 (2011).

Kontakt:

Dr. Gerhard Schmager
ex-Marineamt, Geoinformationswesen, Rostock
gerhardsmager@freenet.de
Dr. Birger Tinz
Deutscher Wetterdienst, Hamburg
Prof. Dr. Peter Hupfer
Humboldt Universität zu Berlin