

Seegangsbetrachtung zum Untergang der MS "MELANIE SCHULTE" im Jahr 1952

Ina Teutsch^{1,2} und Nikolaus Groll¹

¹ Helmholtz-Zentrum Hereon, Abteilung Küstenklima und Regionale Meeresspiegelveränderungen

² Bundesanstalt für Wasserbau, Referat Küsteningenieurwesen

Zusammenfassung

Der Mehrzweckfrachter MELANIE SCHULTE ist im Dezember 1952 gesunken. Die Ursache für den Unfall ist noch immer ungeklärt. Wir untersuchen, ob außergewöhnliche Seegangsbedingungen als Grund für den Unfall in Frage kommen. Zur Klärung dieser Frage wird zunächst das Seegangsfeld im Zeitraum des Unfalls mit Hilfe des Wellenmodells WAM bestimmt und mit einem Gutachten des Seewetteramtes von 1953 verglichen, das die Wetter- und Seegangsverhältnisse zur Zeit des Unfalls beschreibt. Weiterhin wird mit Hilfe der Seegangsstatistik analysiert, auf welche Wellenhöhen die MELANIE SCHULTE im Extremfall getroffen sein könnte. Die Analyse zeigt, dass die Seegangsbedingungen zur Zeit des Unfalls zwar schwer, jedoch für die Jahreszeit nicht ungewöhnlich waren. Allerdings könnten extreme Einzelwellen, ungünstige Wellenlängen oder resonantes Rollen zu einer Beschädigung, zum Kentern oder gar zum Auseinanderbrechen des Schiffes geführt haben.

Schlagwörter

Seegang, Statistik, Wetterlagenuntersuchung, Seefahrt, historisches Ereignis

Summary

The multi-purpose freighter MELANIE SCHULTE sank in December 1952. The cause of the accident is still unclear. We are investigating whether unusual sea conditions could have been a reason for the accident. To clarify this question, the sea state at the time of the accident is determined using the WAM wave model and compared with a report from the maritime weather office from 1953, which describes the weather and sea state conditions at the time of the accident. Sea state statistics are also used to analyze the height of the waves which could have been hit the MELANIE SCHULTE in an extreme case. The analysis shows that sea conditions at the time of the accident, although severe, were not unusual for the time of year. However, extreme individual waves or unfavorable wavelengths could have resulted in damage or even breakup of the ship.

Keywords

sea state, statistics, weather situation, seafaring, historical event

1 Einleitung

Schiffsunglücke gehören seit Beginn der Seefahrt zu den tragischen, aber schwer vermeidbaren Vorfällen. Während in der zivilen Schifffahrt in den letzten Jahrhunderten durch bessere Navigation, stabilere Materialien und höhere technische Standards das Risiko von Seeunfällen verringert werden konnte, bleibt die Möglichkeit technischen oder menschlichen Versagens oder einer Kombination aus beiden stets erhalten, was schließlich zum Sinken eines Schiffes beitragen und den Verlust der Besatzung nach sich ziehen kann. Neben der persönlichen Tragödie der Angehörigen stellt sich nach einem Schiffsunfall die Frage nach der Ursache. Diese wird in der Regel von Sachverständigen in einem Untersuchungsbericht zusammengestellt und vor Gericht wird gegebenenfalls die Schuldfrage geklärt (John 2012). Doch oft bleiben offene Fragen zurück, besonders bei Unfällen, die länger zurückliegen bzw. bei denen keine oder nur wenige Wrackteile gefunden wurden. Ein solches Ereignis stellt der Unfall der MELANIE SCHULTE im Dezember 1952 dar. „Der Spiegel“ berichtete im Jahr 1953 über den Vorfall (Spiegel 1953). Demnach befand sich der nur wenige Wochen zuvor in Dienst gestellte Mehrzweckfrachter MELANIE SCHULTE auf der Überfahrt von Narvik (Norwegen) nach Mobile (Alabama, USA), als am 21.12.1952 der letzte Funkspruch empfangen wurde. Das Schiff mit 6367 BRT (Bruttoregistertonnen), einer Länge von 136 m und einer Breite von 17,76 m war mit 9300 Tonnen Erz beladen. Die letzte bekannte Position des Schiffes lag bei 58°22'N, 9°33'W westlich der Äußeren Hebriden (Schottland, UK) (Abbildung 1). Einen Monat später wurden nur wenige Wrackteile an den Küsten der Äußeren Hebriden gefunden. An Bord befand sich eine 35 Mann starke Besatzung. Im folgenden Jahr erklärte das Seeamt Hamburg nach eintägiger mündlicher Verhandlung, dass die Analyse der Wrackteile auf ein Auseinanderbrechen des Schiffes hindeute. Im Rahmen der Untersuchung wurden einige Vermutungen bezüglich der Unfallursache geäußert, wie falsche Beladung, Konstruktionsfehler, Fehler beim Bau (schon beim Stapellauf traten Probleme auf) oder ungewöhnliche Wetterlage bzw. Seegang. Allerdings konnte keine eindeutige Ursache für ein strukturelles Versagen festgestellt werden.

Während im Rahmen der hier vorliegenden Studie zu den erstgenannten Vermutungen keine Aussage getroffen werden kann, soll versucht werden, eine Einschätzung zu geben, ob im Zeitraum und am Ort des Unglücks eine ungewöhnliche Wetterlage und außergewöhnlicher Seegang (Wellenhöhe, Richtung und Periode) zu erwarten waren bzw. vorherrschten. Zu diesem Zweck werden mit dem Seegangsmodell WAM (WAMDI-Group 1988, Komen et al. 1996) simulierte Wellendaten analysiert und in Bezug zur regionalen Klimatologie des Seegangs gesetzt. Die hier verwendete lange Simulation (1949–2020) wird mit reanalysierten historischen Windfeldern angetrieben und erzeugt einen konsistenten Datensatz, der eine Einordnung von extremen Ereignissen und einen Vergleich mit der Klimatologie zulässt (Weisse et al. 2014, Weisse et al. 2015).

Des Weiteren soll eine Abschätzung der Höhe statistisch möglicher Einzelwellen gegeben werden, auf die die MELANIE SCHULTE getroffen sein kann. Diese Berechnung erfolgt mit Hilfe der linearen Wellentheorie. Außerdem werden die vorherrschenden Wellenlängen im Zeitraum und Gebiet des Unfalls berechnet und in Bezug zur Schiffsgeometrie gesetzt. So soll überprüft werden, ob ungünstige Wellenlängen zu besonders hohen Biegemomenten im Schiffsrumpf geführt haben könnten, welche wiederum ein Auseinanderbrechen des Schiffes wahrscheinlich machen würden.

Die Untersuchung fand im Rahmen der Sonderausstellung „Melanie Schulte – Schiff, Unglück, Mythos“ im Ostfriesischen Landesmuseum Emden statt.

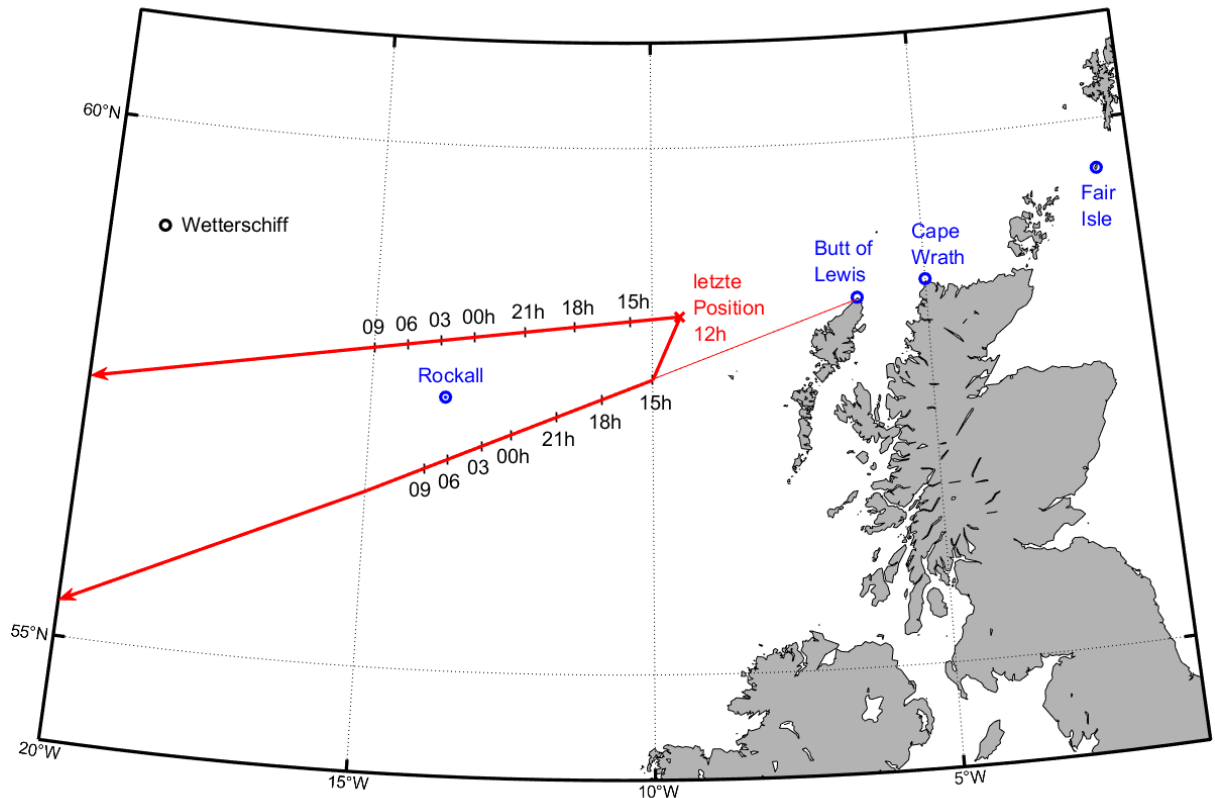


Abbildung 1: Die Karte zeigt Schottland und die Äußeren Hebriden, sowie die Lage der Felsinsel Rockall. Verzeichnet ist die letzte bekannte Position der MELANIE SCHULTE, von der um 12:00 Uhr MEZ des 21.12.1952 die letzte Meldung erfolgte. Weiterhin sind die beiden möglichen Routen skizziert, die das Schiff auf seiner Fahrt von Narvik, Norwegen nach Mobile, Alabama, USA, gewählt haben kann (nach: Deutscher Wetterdienst (1953)).

2 Seegangsbedingungen zur Zeit des Unfalls

Die letzte Meldung der MELANIE SCHULTE erfolgte am 21.12.1952 um 12:00 Uhr MEZ von der Position 58°22'N, 9°33'W vor den Äußeren Hebriden unter der Angabe einer „hohen Westdünung“ (Deutscher Wetterdienst 1953). Das Gutachten vom 07.03.1953 kommt auf der Grundlage von Berechnungen des Seewetteramtes zu dem Schluss, dass die Seegangsbedingungen erst nach dieser letzten Meldung schwierig wurden und sich im Laufe der darauffolgenden Stunden weiter verschlechterten.

Die hier präsentierte Studie analysiert den Seegang an der letzten bekannten Position der MELANIE SCHULTE im Zeitraum des Unfalls anhand einer Seegangssimulation mit dem Wellenmodell WAM, Version 4.5 (WAMDI-Group 1988, Komen et al. 1996). Als Antrieb für das Wellenmodell werden ein regionaler Hindcast der Atmosphäre mit dem Modell COSMO-CLM (Rockel et al. 2008) sowie die beobachtete Meereisbedeckung verwendet. Die räumliche Auflösung des Modells beträgt in etwa 20 km x 20 km. Die Modellwerte stehen alle 3 Stunden zur Verfügung.

Abbildung 2 zeigt die Bathymetrie im Gebiet der Modellsimulation. Farblich markiert ist die Position, von der aus sich die MELANIE SCHULTE zuletzt gemeldet hat. Zu diesem

Zeitpunkt befand sie sich über einer Wassertiefe von etwa 1500 m, wobei die Wassertiefe etwas weiter östlich noch 200 m, etwas weiter westlich bereits 2000 m betrug. In dem untersuchten Seegebiet sind die Wellen häufig hoch und regelmäßig, bedingt durch den Einfluss von Dünung aus dem Nordatlantik (Cox 2023). Nach der linearen Wellentheorie wirkt sich die Änderung der Bathymetrie in den dargestellten Wassertiefen nicht signifikant auf Oberflächenwellen aus, da es sich jeweils um Tiefwasserwellen handelt. Tiefwasserwellen sind Wellen, bei denen die Kreisbewegung der Teilchen an der Wasseroberfläche nicht vom Meeresboden beeinflusst wird. Dies gilt typischerweise für Wellen, die kürzer sind als die zweifache Wassertiefe (Holthuijsen 2007).

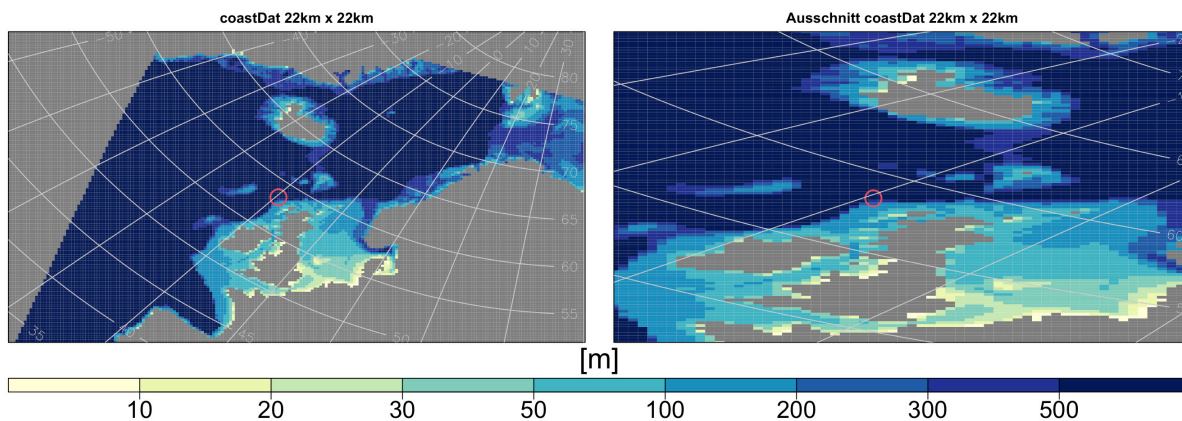


Abbildung 2: Modellgebiet der Simulation coastDat-WAM (grobes Gitter). Farblich dargestellt ist die Wassertiefe in Metern. Links: gesamte Modellregion, rechts: Nahansicht. Das Gebiet des Unfalls ist in beiden Ansichten eingekreist.

Die für die vorliegende Studie verwendete Modellsimulation deckt den östlichen Nordatlantik ab, mit dem westlichen Rand von Grönland bis zur iberischen Halbinsel und dem östlichen Rand in der Barentssee. Nördlich wird sie durch das Polarmeer bzw. die saisonale Meereiskante begrenzt, im Süden durch das europäische Festland (Abbildung 2). Im Rahmen von coastDat (www.coastdat.de) dient diese Simulation dazu, Randwerte für höher aufgelöste Modellsimulationen der Nordsee zu generieren. Die hier untersuchte Region (Abbildung 2, links) liegt daher näher am Modellrand, als bei einer eigens für diesen Untersuchungszweck durchgeführten Simulation. Dadurch wird möglicherweise eine Dünung aus westlicher Richtung unterschätzt, da sie im Modell nicht ausreichend Raum hat, um sich auszubilden. Dies kann dazu führen, dass das resultierende Wellenfeld geringere Wellenhöhen liefert als tatsächlich vorhanden.

Aus dem Modellauf wurden die Seewetterbedingungen in dem Zeitraum ausgelesen, in dem die MELANIE SCHULTE verunglückt sein muss. Im Folgenden werden die drei Ausgabeparameter *Windgeschwindigkeit*, *signifikante Wellenhöhe* und *Wellenperiode* betrachtet.

Die *Windgeschwindigkeit* v wird in einer Höhe von 10 m oberhalb der Wasseroberfläche ausgelesen. Die *signifikante Wellenhöhe* H_s wird aus dem Wellenspektrum bestimmt als

$$H_s = H_{m0} = 4\sqrt{m_0} \quad (1)$$

mit dem nullten Moment m_0 des Varianzspektrums bzw. der Varianz der Wasserspiegelauslenkung. Bezogen auf eine Zeitreihe ist die signifikante Wellenhöhe vergleichbar mit der mittleren Wellenhöhe des höchsten Drittels der Wellen innerhalb einer Zeitspanne von 60 min, wobei die Wellenhöhe von Wellenberg zu Wellental gemessen wird (Abbildung 3).

In Beobachtungen wird die *Wellenperiode* T von einem positiven Nulldurchgang der Wasserspiegelauslenkung bis zum nächsten gemessen (Abbildung 3). Im Seegangmodell wird die entsprechende Wellenperiode T_{m2} aus dem Wellenspektrum als

$$T_{m2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \quad (2)$$

bestimmt. m_0 und m_2 beschreiben hierbei Momente des Varianzspektrums.

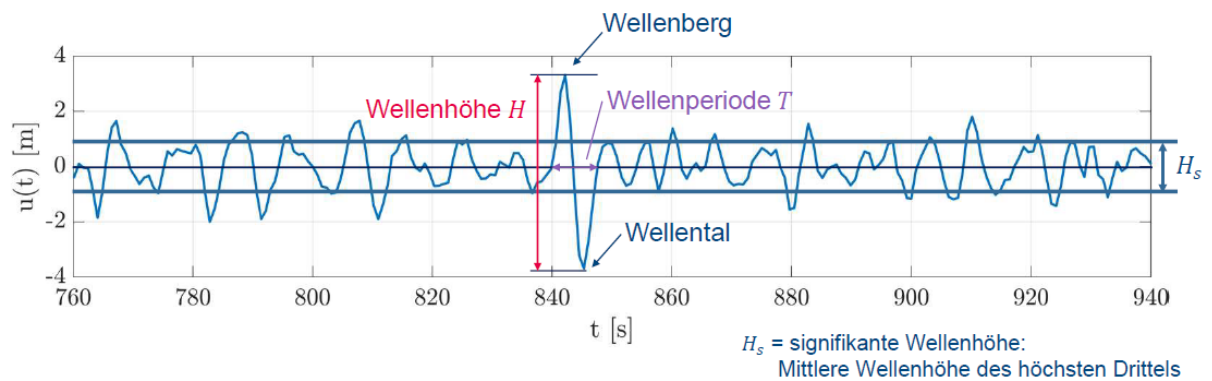


Abbildung 3: Definitionen der untersuchten Wellenparameter am Beispiel einer Zeitreihe der Wasserspiegelauslenkung.

Laut Modell nahmen ab dem 21.12.1952 um 12:00 Uhr MEZ, der letzten Meldung der MELANIE SCHULTE, Windgeschwindigkeit und signifikante Wellenhöhe zunächst ab (Abbildung 4). Am folgenden Abend stieg die Windgeschwindigkeit wieder an und mit etwas Verzögerung am nächsten Tag auch die Wellenhöhe. Dabei drehte der Wind zuerst auf Süden und im weiteren Verlauf auf südwestliche Richtung, gefolgt von der Wellenrichtung. Spätestens ab dem 23. Dezember herrschte starker Wind mit hohen und langen Wellen in dem Seegebiet vor, in dem sich das Schiff befand. Die Wellenlänge ist für die Biegebelastung des Schiffes von besonderer Relevanz.

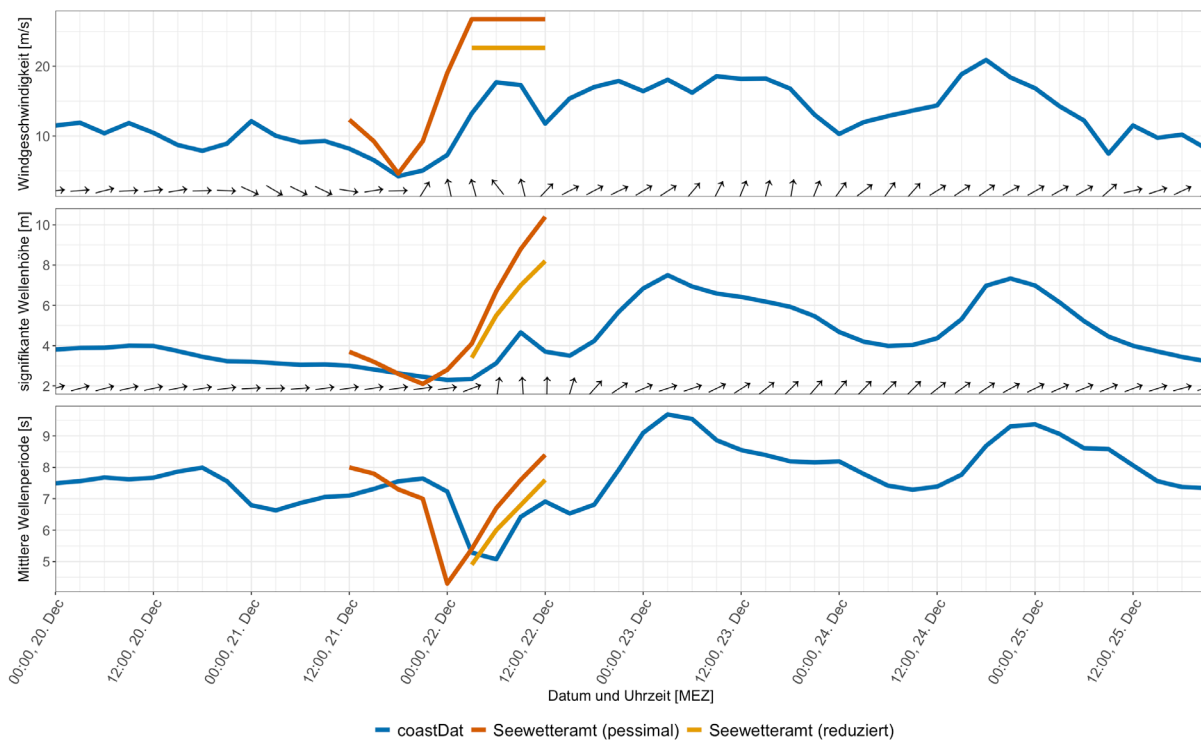


Abbildung 4: Vergleich der drei untersuchten Parameter *Windgeschwindigkeit*, *signifikante Wellenhöhe* und *mittlere Wellenperiode* aus der Simulation coastDat-WAM (blaue Kurven) mit den Abschätzungen des Seewetteramtes (Deutscher Wetterdienst 1953). Die rote Kurve zeigt dabei jeweils die pessimalen Bedingungen, berechnet aus den Höchstwerten für das in der Region gegebene Druckgefälle. Die gelbe Kurve zeigt reduzierte Werte, die sich aus wahrscheinlicheren Bedingungen ergeben. Die Pfeile geben die Windrichtung bzw. Wellenrichtung zum jeweiligen Zeitpunkt an. Die Parameter sind dargestellt für den Zeitraum, der auf die letzte Meldung der MELANIE SCHULTE folgt.

Um zu bestimmen, ob die signifikante Wellenhöhe im Dezember 1952 im Langzeitvergleich besonders hoch war, wurden sogenannte Kalenderplots erstellt und ausgewertet (Abbildung 5 und 6). Als Vergleichswert dient der Median des Tagesmaximums für den Monat Dezember, welcher aus den Dezemberwerten der Jahre 1949 bis 2020 zu 3,7 m berechnet wurde. Nach Abbildung 5 lag das Tagesmaximum der signifikanten Wellenhöhe am 21.12.1952 mit 3,2 m unterhalb des Langzeit-Medians von 3,7 m und ist folglich für die signifikante Wellenhöhe im Dezember durchaus zu erwarten. Vom 22.12.1952 bis zum 25.12.1952 lag das Tagesmaximum der signifikanten Wellenhöhe oberhalb des Langzeit-Medians für den Monat Dezember (Werte fett gedruckt in Abbildung 5). Besonders am 23.12.1952 waren die Wellen auffallend hoch und erreichten mit 7,50 m den höchsten Wert seit der letzten Meldung der MELANIE SCHULTE.

Veranschaulicht werden diese Ergebnisse in Abbildung 6. Während die Wellenhöhe am 21.12.1952 im Vergleich zum Langzeit-Median noch als „normal“ (grün) eingestuft werden kann, steigt die Wellenhöhe am 22.12.1952 auf „hoch“ (gelb) und in den folgenden drei Tagen auf „sehr hoch“ (rot) an. Laut Modell dürfte die MELANIE SCHULTE also ab dem 22.12.1952 auf erschwerte Wellenbedingungen getroffen sein.

In Übereinstimmung mit dem Gutachten des Seewetteramtes vom 07.03.1953 (Deutscher Wetterdienst 1953) zeigt das Modell also, dass die Wetter- und Seegangsbedingungen zum Zeitpunkt des letzten Funkkontaktes nicht auffällig waren, in den nächsten Tagen jedoch schwer wurden.

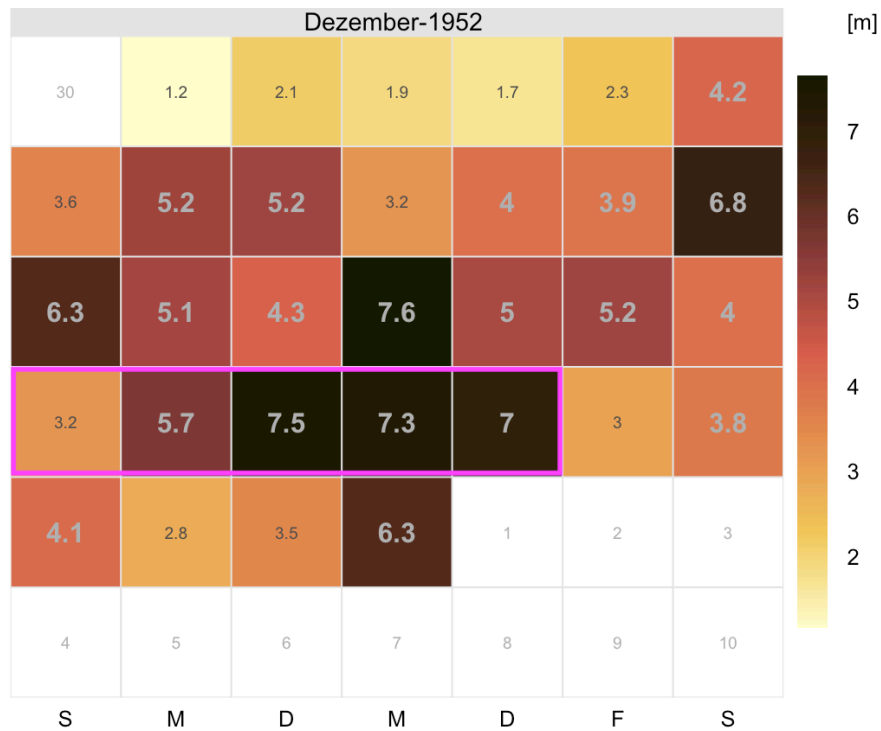


Abbildung 5: Kalenderplot: Dargestellt sind alle Tage des Monats Dezember 1952 (Wochentage auf der x-Achse). Farblich codiert ist das Maximum der signifikanten Wellenhöhe des jeweiligen Tages. Fett gedruckte Werte liegen über dem langjährigen (1949–2020) Median des täglichen Maximums von 3,7 m für den Monat Dezember. Das lila Rechteck kennzeichnet die Tage vom 21.12 bis zum 25.12.

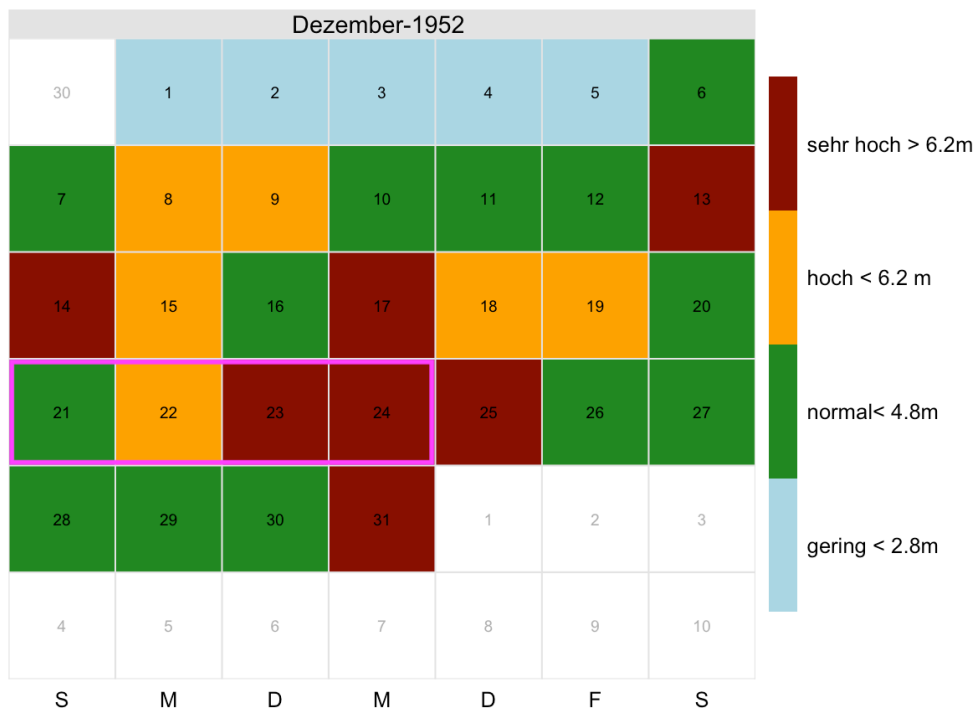


Abbildung 6: Kalenderplot: Abgebildet sind alle Tage des Monats Dezember 1952 (Wochentage auf der x-Achse, in jedem Kästchen steht der jeweilige Dezembertag). Die farbliche Einteilung zeigt an, ob die maximale signifikante Wellenhöhe eines Tages gering, normal, hoch oder sehr hoch war. Dabei entspricht blau weniger als 25 % des langjährigen Medians des täglichen Maximums im Dezember, grün zwischen 25 % und 75 %, gelb zwischen 75 % und 90 % und rot mehr als 90 % des langjährigen mittleren Maximums der signifikanten Wellenhöhe im Dezember. Das lila Rechteck kennzeichnet die Tage vom 21.12 bis zum 25.12.

Die Kalenderplots in Abbildung 5 und Abbildung 6 stellen eine qualitative Einschätzung der signifikanten Wellenhöhe im Vergleich mit typischen Dezemberwerten dar. Eine darüber hinausgehende quantitative Einordnung der Wellenhöhen am Ort des Unfalls im Dezember 1952 erfolgt mit Hilfe des Wiederkehrwertes (Abbildung 7). Hier kann mit Hilfe einer Extremwertstatistik (generalized extreme value (GEV) nach Coles (2001), basierend auf 72 Jahren Dezembermaxima, abgelesen werden, wie häufig eine bestimmte Wellenhöhe im Dezember zu erwarten ist. Die signifikante Wellenhöhe von 7,50 m, welche den Maximalwert im Dezember 1952 westlich der Äußeren Hebriden darstellt, ist demnach etwa alle 0,7 Jahre (1,5 mal pro Jahr) zu erwarten (Abbildung 7, rote Kurve). Obwohl die signifikante Wellenhöhe von 7,50 m den Langzeit-Median für Dezember überschreitet (Abbildung 5) und als sehr hoch eingestuft wird (Abbildung 6), ist sie nicht unerwartet und kann jeden Dezember auftreten. Wellenhöhen von 3 bis 4 m, wie zum Zeitpunkt der letzten Meldung der MELANIE SCHULTE, sind im Dezember häufig zu erwarten (Abbildung 7).

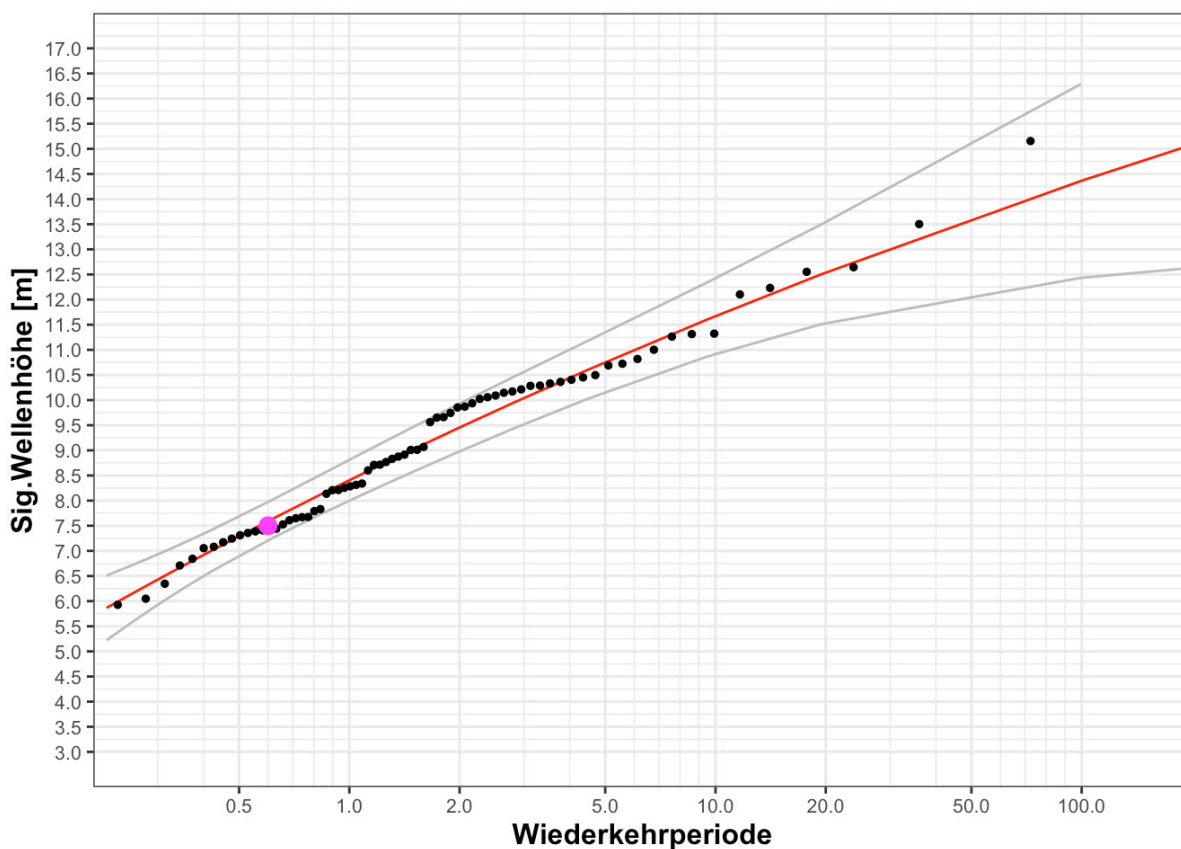


Abbildung 7: Wiederkehrwert der signifikanten Wellenhöhe am ungefähren Unfallort der MELANIE SCHULTE, basierend auf den Dezemberwerten der Modellsimulationen aus 72 Jahren. Schwarze Punkte: empirische Daten aus der Modellsimulation; rote Kurve: theoretischer Wiederkehrwert; graue Kurven: 95 % Konfidenzintervall; lila Punkt: Maximale signifikante Wellenhöhe am Tag des Unfalls.

3 Einordnung der Modellergebnisse

Im Folgenden werden die beschriebenen Modellergebnisse für Windstärke, Seegang, Wind- und Wellenrichtung mit den Berechnungen aus dem Gutachten des Seewetteramtes verglichen (Abbildung 4). Die Grundlage für Abbildung 4 bilden „steife bis stürmische böige

Westwinde“, die in der Nacht vom 20.12.1952 auf den 21.12.1952 für hohen Seegang gesorgt hatten (Deutscher Wetterdienst 1953). Auch in der Seegangssimulation wird Wind aus westlicher Richtung berechnet (Abbildung 4, oben, Pfeile). Dem Gutachten zufolge fuhr die MELANIE SCHULTE nach ihrer letzten Meldung zunächst in ein Hochdruckgebiet hinein, das mit guten Wetter- und Seegangsbedingungen einherging. Dies wird sowohl in der Seegangssimulation als auch in der Berechnung des Seewetteramtes in der Form von abnehmender Windgeschwindigkeit und Wellenhöhe abgebildet (Abbildung 4). Die roten Kurven beschreiben hierbei die schlechtesten Bedingungen, die bei dem gegebenen Druckgefälle möglich sind. Das Druckgefälle beruht auf Meldungen aus dem Seegebiet. Ab dem 21.12. um 21:00 Uhr MEZ drehte der Wind gemäß der Seegangssimulation auf Süd (Abbildung 4, oben, Pfeile). Das Gutachten beschreibt, dass in einer Kombination aus Wind, Wetter und Sicht die Bedingungen für die MELANIE SCHULTE am 22.12.1952 um etwa 03:00 Uhr MEZ durch Regen und stürmischen Südwind am schlechtesten gewesen sein müssen. Nach der Seegangssimulation ist dies auch etwa die Zeit, ab der der Seegang in Folge des Südwindes aus südlicher Richtung kam (Abbildung 4, Mitte, Pfeile). Das Gutachten des Seewetteramtes geht davon aus, dass der Seegang kurzzeitig direkt aus Süden kam und im weiteren Verlauf wieder auf Südsüdwest drehte. Die Seegangssimulation zeigt einen ähnlichen Verlauf. Die Berechnung des Seewetteramtes zeigt maximale Windgeschwindigkeiten ab 03:00 Uhr MEZ (Abbildung 4, oben, rote Kurve) und in der Folge einen starken Anstieg der Wellenhöhe (Abbildung 4, Mitte, rote Kurve). Das Gutachten geht jedoch aufgrund der Meldung eines Wetterschiffs in der Region davon aus, dass die pessimalen Bedingungen nicht eingetreten sind, und somit die Maximalwerte für Wind und Seegang nicht erreicht wurden. Reduzierte Werte führen zu den gelben Kurven in Abbildung 4.

Das WAM-Modell bildet die beschriebenen Entwicklungen qualitativ ab, jedoch werden für den 22.12.1952 geringere Windstärken und Wellenhöhen bestimmt als die im Gutachten berechneten. Dies kann an einer Unterschätzung der Dünung aus West bis Süd des Modells liegen.

Am 21.12.1952 um 12:00 Uhr MEZ, dem Zeitpunkt des letzten Funkkontaktes, bei dem die MELANIE SCHULTE eine signifikante Wellenhöhe von 3,7 m angegeben hat, liefert das Wellenmodell eine signifikante Wellenhöhe von 3,0 m. Die signifikante Wellenhöhe nimmt zunächst leicht ab und steigt dann zum 22.12. um 09:00 Uhr MEZ an. Nach einer kurzen Phase der Abschwächung nehmen Wind und Seegang laut Wellenmodell ab dem 22.12.1952 gegen 15:00 Uhr MEZ wieder zu. Das Maximum der signifikanten Wellenhöhe wird demnach erst am 23.12. um 03:00 Uhr MEZ erreicht. Auch ein westlich der Region bei 59°N, 19°W liegendes Wetterschiff meldete das Maximum der signifikanten Wellenhöhe erst später als die Berechnung des Seewetteramtes. Dasselbe Wetterschiff meldete zwischen dem 22.12.1952 um 05:00 MEZ und dem 23.12.1952 um 04:00 Uhr MEZ schweren bis orkanartigen Sturm der Stärke 10 bis 11. Dies stimmt mit den Ergebnissen des WAM-Modells für die Windgeschwindigkeit überein. Das Gutachten des Seewetteramtes weist jedoch darauf hin, dass die MELANIE SCHULTE wahrscheinlich etwas weiter von diesem Sturmgebiet entfernt und diese Bedingungen womöglich nicht ausgesetzt war.

4 Extreme Einzelwellen

Das zur Auswertung genutzte Wellenmodell beruht auf Wellenspektren. Es stellt daher Durchschnittswerte der Wellenhöhen und -perioden zur Verfügung und enthält keine Informationen über die Höhe oder Periode von Einzelwellen. Im Folgenden sollen nun die maximalen Einzelwellenhöhen ermittelt werden, denen die MELANIE SCHULTE in dem betrachteten Zeitraum begegnet sein könnte.

Um die maximal erwartbare Wellenhöhe zu bestimmen, wird hier die Gültigkeit der linearen Wellentheorie angenommen (Holthuijsen 2007). Diese besagt, dass ein zufälliges Seegangsfeld aus sinusförmigen Wellen mit zufälliger Phasenverteilung zusammengesetzt ist. Ist die Wasserspiegelauslenkung normalverteilt, kann gezeigt werden, dass die Wellenhöhen in diesem Seegangsfeld einer Rayleigh-Verteilung folgen (Abbildung 8) (Longuet-Higgins 1952). Diese ist eine Exponentialfunktion mit der Gleichung

$$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{1/\sqrt{2}}\right)^2\right]. \quad (3)$$

$F(x)$ beschreibt dabei die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte relative Wellenhöhe $x = H/H_s$ überschritten wird.

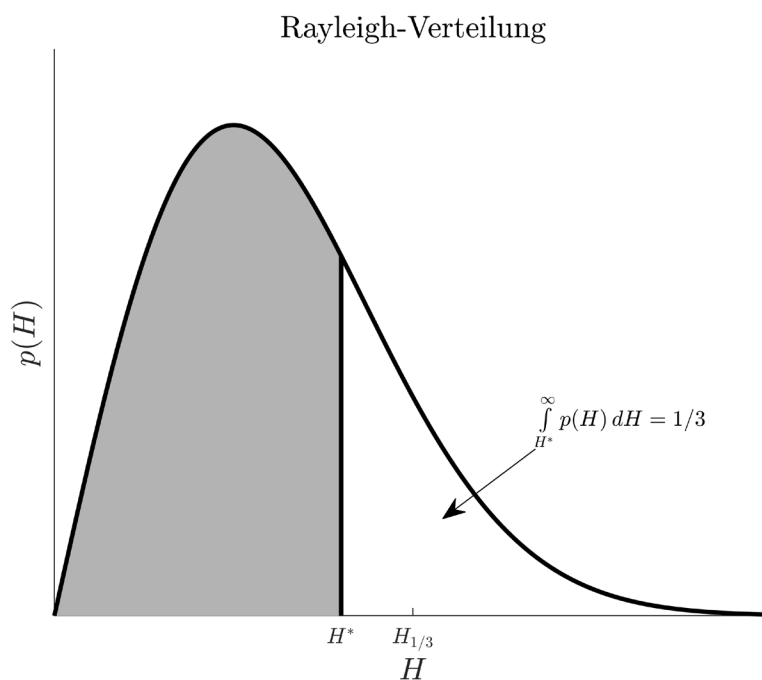


Abbildung 8: Überschreitungswahrscheinlichkeit von Wellenhöhen H nach der Rayleigh-Verteilung nach Holthuijsen (2007). Der weiße Bereich rechts des Wertes H^* zeigt das höchste Drittel der Wellen im betrachteten Seegangsfeld. Der Durchschnittswert des höchsten Drittels ist mit $H_{1/3}$ angegeben. Dies ist die signifikante Wellenhöhe nach der Zeitreihen-Definition.

Besonders auffällig sind sogenannte Extremwellen („Freak Waves“ oder „Monsterwellen“). Ihre Wellenhöhe H ist mindestens doppelt so hoch wie die signifikante Wellenhöhe H_s (Haver und Andersen 2000):

$$x = \frac{H}{H_s} \geq 2.0. \quad (4)$$

Für eine solche Extremwelle mit $x=2$ ergibt Gleichung 2

$$F(2) = 0,000335 \approx 1/3000.$$

Demnach wird eine Extremwelle durchschnittlich etwa einmal in 3000 Wellen erwartet.

Nach Forristall (1978) überschätzt die Rayleigh-Verteilung jedoch große Wellenhöhen: In gemessenen Wellendaten traten diese seltener auf als zuvor berechnet. Gleichung 2 kann daher mit empirischen Parametern angepasst werden zu (Forristall 1978):

$$F(x) = \exp \left[- \left(\frac{x}{0,7218} \right)^{2,126} \right]. \quad (5)$$

Das Einsetzen einer Extremwelle mit $x = 2$ ergibt nun

$$F(2) = 0,000162 \approx 1/6000.$$

Nach Gleichung 4 werden Extremwellen nun nur noch halb so oft vorhergesagt, d. h. etwa einmal in 6000 Wellen. Der Unterschied entsteht dadurch, dass Wellen nicht, wie in der Theorie, komplett linear sind. Im realen Ozean sind Wellen nicht sinusförmig, sondern leicht asymmetrisch (Holthuijsen 2007). Gleichung 5 konnte für viele Seegebiete bestätigt werden (Forristall 2005, Waseda et al. 2011, Teutsch et al. 2020).

Im Folgenden werden extreme Einzelwellen im Seegebiet und zum Zeitpunkt des Unfalls der MELANIE SCHULTE abgeschätzt. Laut Seewetteramt (1953) betrug die signifikante Wellenhöhe beim letzten Funkkontakt der MELANIE SCHULTE um 12:00 Uhr MEZ an der von ihrer gemeldeten Position $H_s = 3,7$ m. Die Wellen wiesen demnach eine durchschnittliche Periode von $T = 8$ s auf. Drei Stunden später, um 15:00 Uhr MEZ, hätte die Wellenhöhe nach den Berechnungen des Seewetteramtes bereits auf $H_s = 3,2$ m abgenommen haben müssen.

Da zwischen 12:00 Uhr MEZ und 15:00 Uhr MEZ keine Werte zur Verfügung stehen, wird angenommen, dass die signifikante Wellenhöhe drei Stunden lang $H_s = 3,7$ m betrug.

Bei einer Wellenperiode von $T = 8$ s treten innerhalb von drei Stunden

$$n = \frac{3h * 60min * 60s}{8s} = 1350$$

Wellen auf. Aus der Forristall-Verteilung (Gleichung 5) ist bekannt, dass eine Extremwelle, in diesem Fall mit $H \geq 2 * H_s = 2 * 3,7m = 7,4m$, einmal in 6000 Wellen auftritt. Diese Einzelwellenhöhe ist daher innerhalb dieser drei Stunden bzw. 1350 Wellen unwahrscheinlich. Die maximale Welle, die innerhalb von drei Stunden (oder 1350 Wellen) einmal auftritt, ist nach Gleichung 4 mit $F(x) = 1/1350$ eine Welle mit $x = H/H_s = 1,828$. Bei einer signifikanten Wellenhöhe von $H_s = 3,7$ m ist dies eine Welle mit der individuellen Höhe von $H = 1,828 * H_s \approx 6,76$ m. Diese sollte für ein Schiff mit den Maßen der MELANIE SCHULTE (Seitenhöhe bis zum Hauptdeck: 8,66 m) nicht gefährlich sein.

Im Folgenden wird der weitere Verlauf betrachtet. Aus dem Gutachten des Seewetteramtes geht hervor, dass unter pessimalen Windbedingungen auf der Nordroute am 22.12.1952 um 12:00 Uhr MEZ Wellenhöhen von bis zu $H_s = 10,4$ m bei einer Wellenperiode von $T = 8,4$ s möglich gewesen sein können.

Es wird angenommen, dass die signifikante Wellenhöhe von $H_s = 10,4$ m drei Stunden lang vorgehalten hat. Bei einer Periode von $T = 8,4$ s traten innerhalb dieser Zeit $n = 1285$ Wellen auf. Aus der Forristall-Verteilung (Gleichung 5) ergeben sich die Wahrscheinlichkeiten in Tabelle 1. Zum Vergleich sind außerdem die Wahrscheinlichkeiten der

Wellenhöhen unter den reduzierten Annahmen des Seewetteramtes sowie unter den maximalen Bedingungen aus den Simulationen mit dem WAM-Modell angegeben.

Tabelle 1: Häufigkeit, mit der Wellen an der Position der MELANIE SCHULTE bei einer signifikanten Wellenhöhe von $H_s = 10,4$ m bzw. 8,2 m und einer Wellenperiode von $T = 8,4$ s bzw. 7,6 s am 22.12.1952 zwischen 12:00 Uhr MEZ und 15:00 Uhr MEZ zu erwarten waren. Zum Vergleich: Wahrscheinlichkeit, mit der diese Wellen unter der Annahme der maximalen Seegangbedingungen aus dem WAM-Modell auftraten.

Wellenhöhe	Seewetteramt (pessimal)	Seewetteramt (reduziert)	WAM-Modell
10 m	ca. 205 mal	ca. 67 mal	ca. 28 mal
15 m	ca. 16 mal	ca. 1 mal	ca. 0,2 mal
18 m	ca. 2 mal	ca. 0 mal	ca. 0 mal
20 m	ca. 0,4 mal	ca. 0 mal	ca. 0 mal
maximal	18,7 m	14,8 m	13,4 m

Die Tabelle zeigt, wie stark die prognostizierte Häufigkeit des Auftretens einer Welle mit deren Höhe abnimmt. Eine 20 m hohe Welle wird unter Maximalbedingungen innerhalb der drei Stunden nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 40 %, also möglicherweise nicht, aufgetreten sein, eine 18 m hohe Welle hingegen wahrscheinlich schon, eventuell sogar mehrfach. Die maximal zu erwartende Wellenhöhe unter Pessimalbedingungen war nach der Verteilung in Gleichung 4 etwa $H = 18,7$ m. Wellen dieser Höhe bergen einige Gefahren für die Besatzung eines Schiffes mit einer Deckshöhe von 8,66 m. Auch Wellen der Höhe von $H = 15$ m dürften mehrfach aufgetreten sein (Tabelle 1).

Zu bedenken ist weiterhin, dass die Wellenhöhe von Wellenkamm zu Wellental gemessen wird (Abbildung 3). Ein Schiff muss also bei einer 18 m hohen Welle einen Wellenkamm von etwa 9 m bewältigen, um im Anschluss in ein etwa 9 m tiefes Wellental zu stürzen. Grünes Wasser an Deck erschwert die Situation zusätzlich.

Die in diesem Kapitel geschilderten Erkenntnisse basieren auf der Theorie, dass sich Wellen linear überlagern. Es gibt jedoch weitere, nichtlineare Effekte, die für die Entstehung zusätzlicher, unerwartet hoher Extremwellen sorgen können (Haver 2000).

5 Die Bedeutung der Wellenrichtung

Bei der Auswirkung von Seegang auf ein Schiff ist nicht nur die Höhe der Wellen von Bedeutung, sondern auch deren Ausbreitungsrichtung. Dabei entscheidet der Winkel zwischen der Wellenrichtung und der Fahrtrichtung des Schiffes über die dynamische Antwort des Schiffes auf den Seegang. Dieser Winkel wird im Folgenden für die beiden möglichen Routen der MELANIE SCHULTE näher beleuchtet. Grundlage für die Wellenausbreitungsrichtung ist dabei das Ergebnis der Seegangssimulation.

Hätte sich die MELANIE SCHULTE für die Nordroute entschieden, d. h. für einen direkten Kurs nach Westen, sollten die Wellen zunächst frontal auf das Schiff getroffen sein (Abbildung 9, rote Kurve bzw. Pfeile). Am 22.12. ab etwa 03:00 Uhr MEZ, als der Seegang gemäß Simulation schnell auf aus südlicher Richtung kommend drehte, könnten die Wellen dann über einen längeren Zeitraum steil von Backbord auf das Schiff getroffen

sein. Bei einer Wahl der Südroute wären die Wellen zunächst schräg von Steuerbord gekommen, später mit dem Auffrischen des Windes von vorne und bei wachsendem Seegang am Abend des 22.12. wieder schräg von Steuerbord (Abbildung 9, gelbe Kurve bzw. Pfeile). Somit kann es bei beiden Routen zu Seegang von der Seite gekommen sein.

In seitlich auftreffendem Seegang wird ein Schiff zu Rollbewegungen angeregt (Nayfeh und Khdeir 1986, Themelis und Spyrou 2008, Liang und Lin 2015, Wawrzyński und Krata 2016). Passen die Perioden der vorherrschenden Wellen zur natürlichen Rollperiode des Schiffes, kann es zu Resonanzen kommen (U+S Ausschuss der See-BG 2003). Durch die periodische Zufuhr von Energie aus den Wellen ist dann die Dämpfung des Schiffes aufgehoben und die Rollbewegung schaukelt sich auf (Baumann 1961). Der Stabilitätsverlust durch angeregte Rollbewegungen kann so groß sein, dass Schiffe kentern (Taylan 2000). Resonantes Rollen kann unter Umständen auch bei frontal auftreffendem Seegang entstehen.

Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass die MELANIE SCHULTE seitlichem Seegang ausgesetzt war, kann eine resonante Rollbewegung eine mögliche Ursache für das Sinken des Schiffes sein. Sie bietet jedoch keine Erklärung für das Auseinanderbrechen des Schiffes.

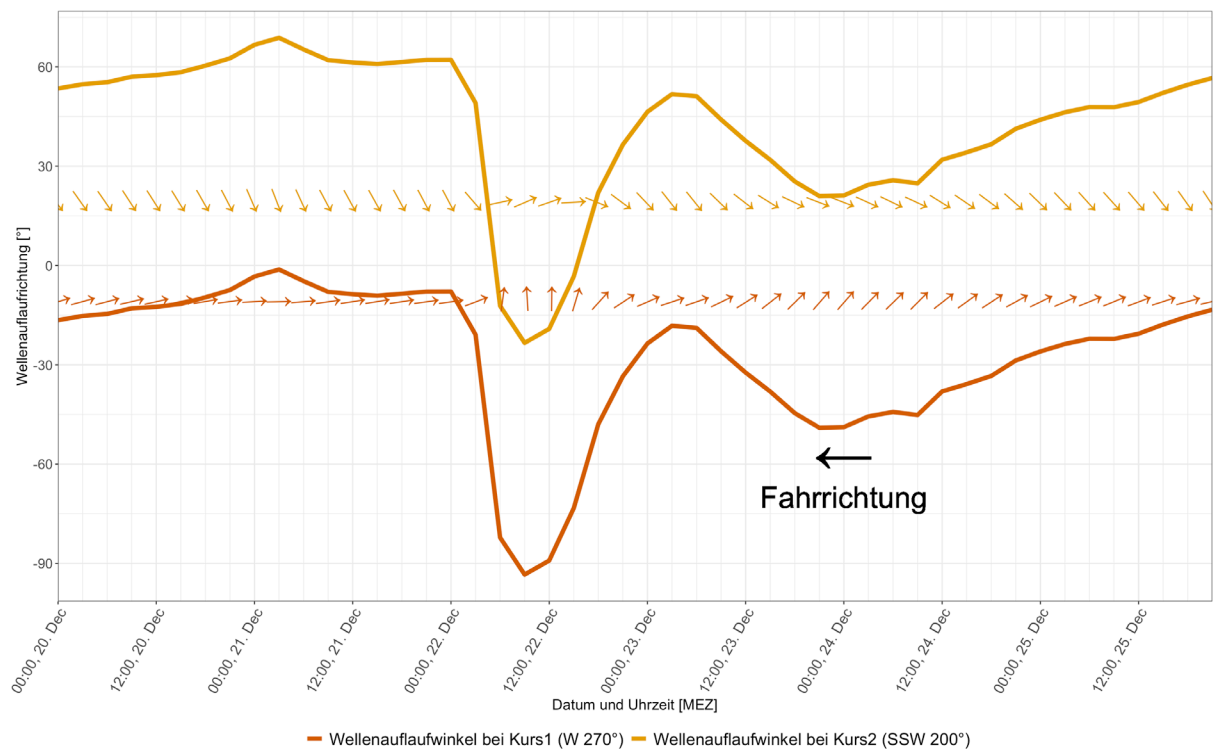


Abbildung 9: Möglicher Winkel zwischen der Fahrtrichtung des Schiffes und der Ausbreitungsrichtung des Seegangs für die beiden angenommenen Kurse. Rot: Kurs 1, „Nordroute“, bei der das Schiff einen Kurs nach Westen annimmt. Gelb: Kurs 2, „Südroute“, bei der das Schiff nach Südsüdwest fährt. Ein Wert von 0° bedeutet für das Schiff Seegang von vorne, -90° entspricht Seegang von Backbord. Um dies zu verdeutlichen, ist die Wellenaufbaufrichtung relativ zur Fahrtrichtung des Schiffes für beide Routen als Pfeile dargestellt.

6 Die Bedeutung der Wellenlänge

Nach den Erkenntnissen der Seeamtsverhandlung im Jahr 1953 in Hamburg ist die MELANIE SCHULTE mit großer Wahrscheinlichkeit auseinandergebrochen (Spiegel 1953). Dies wurde aus der Begutachtung der angespülten Wrackteile geschlossen. Das Auseinanderbrechen eines Schiffes kann die Folge einer Überlastung durch erhöhte Biegemomente sein, wie im Folgenden ausgeführt wird.

Zunächst wird dafür theoretisch ein Schiff ohne den Einfluss von Seegang, d. h. in unbewegtem Wasser, betrachtet. Gewicht und Auftriebskraft des schwimmenden Schiffes sind insgesamt ausgeglichen. In den einzelnen Sektionen variieren jedoch die Kräfte, entweder dominiert die Gewichtskraft oder der Auftrieb die Resultierende. Das Gewicht des Schiffes ist über die Länge ungleich verteilt, was sowohl seiner eigenen Struktur als auch der Ladungsverteilung geschuldet ist. Im speziellen Fall der MELANIE SCHULTE ist bekannt, dass die Erzladung ungewöhnlich verteilt und ein Laderaum leer war (Spiegel 1953). Wie die Gewichtskräfte eines Schiffes variieren auch die Auftriebskräfte über die Länge, da der Unterwasserquerschnitt über die Schiffslänge nicht konstant ist. Die resultierenden Auf- und Abwärtskräfte werden vertikale Scherkräfte genannt. Als Reaktion auf die unterschiedliche vertikale Belastung in den unterschiedlichen Sektionen biegt sich das Schiff: Die oberen Decks erfahren Zug, der Kiel erfährt Druck (Eyres 2001). Der dargestellte Belastungsfall wird „Hogging“ genannt. Auch der gegenteilige Belastungsfall, bei dem das obere Deck Druck, der Kiel aber Zug erfährt, ist möglich und wird „Sagging“ genannt. Die hier beschriebenen Kräfte sind statische Kräfte.

Liegt das theoretisch betrachtete Schiff nun nicht in glattem Wasser, sondern ist Seegang ausgesetzt, werden die Auftriebskräfte durch Wellenberge und -täler verändert. Das Biegemoment und die vertikalen Scherkräfte werden üblicherweise verstärkt. Dies gilt besonders, wenn sich das Schiff in Wellen befindet, deren Länge mit der Schiffslänge übereinstimmt: Wenn sich an beiden Enden eines Schiffes ein Wellenberg befindet, mittschiffs jedoch ein Wellental, ist die Auftriebskraft an den Schiffsenden deutlich höher als mittschiffs und ein Sagging-Fall entsteht. Der umgekehrte Hogging-Fall entsteht in dem Moment, in dem sich ein Wellenberg in der Mitte des Schiffes befindet, an den vorderen und hinteren Enden jedoch jeweils ein Wellental (Eyres 2001). Da der Seegang dynamisch ist, wechseln sich Hogging- und Saggingfälle ab und das Schiff erfährt abwechselnd extreme Belastungen in jeweils entgegengesetzter Richtung (Fonseca et al. 2006). Es handelt sich daher um dynamische Kräfte. Diese können zu einer Überbelastung und beim Versagen der Struktur sogar zum Auseinanderbrechen eines Schiffes führen, wie im Fall der MOL Comfort nachgewiesen (Jiang 2015).

Um zu untersuchen, ob die beschriebenen Biegebelastungen im Fall der MELANIE SCHULTE eine Rolle gespielt haben könnten, müssen die möglichen Wellenlängen im Seegebiet westlich der Äußeren Hebriden bestimmt werden. Diese können mit Hilfe der Dispersionsrelation aus den Wellenperioden in Absatz 2 berechnet werden. In tiefem Wasser beträgt die Wellenlänge (Holthuijsen 2007)

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (6)$$

Für die maximale Wellenperiode aus dem Wellenmodell $T = 9,7$ s ergibt sich eine durchschnittliche Wellenlänge von $\lambda \approx 147$ m. Für den ebenfalls wahrscheinlichen Fall von $T = 8$ s (Abbildung 4) beträgt die durchschnittliche Wellenlänge $\lambda \approx 100$ m. Für die

MELANIE SCHULTE sind diese Wellenlängen relevant, da sie nahe der Schiffslänge von 136 m liegen. Dies gilt besonders, falls die MELANIE SCHULTE ihre Reise wie geplant auf der Nordroute fortgesetzt hätte und frontal in die Westdünen gefahren wäre. Eine Überbelastung durch Hogging und Sagging ist daher ein mögliches Szenario, welches als Unfallursache in Betracht gezogen werden kann.

7 Schlussfolgerung

Der Mehrzweckfrachter MELANIE SCHULTE ist am 21.12.1952 westlich der Äußeren Hebriden verschwunden. Wetterbericht und Wellenmodell ergeben, dass die Wetter- und Seegangsbedingungen an diesem Tag nicht außergewöhnlich waren. Am darauffolgenden Tag frischte der Wind auf. Obwohl die dann erreichten Wellen nach dem Langzeitmittel für Dezember nicht unerwartet sind, kann der Seegang ab dem 22.12.1952 für mehrere Tage als sehr schwer eingestuft werden. Nach der linearen Wellentheorie könnte die MELANIE SCHULTE Einzelwellen mit einer maximalen Höhe von bis zu 18,7 m begegnet sein. Da der Seegang vermutlich für einige Zeit seitlich auf das Schiff getroffen ist, kann ein Kentern als Ergebnis starker Rollbewegungen nicht ausgeschlossen werden. Die durchschnittlichen Wellen nach dem Auffrischen des Sturmes könnten in dem Schiff hohe Biegemomente ausgelöst haben. Ein Auseinanderbrechen des Schiffes aufgrund von Hogging und Sagging kann als Unfallursache in Betracht gezogen werden.

8 Danksagung

Das Ostfriesische Landesmuseum Emden stellte die MELANIE SCHULTE in einer Sonderausstellung vom 22.12.2022 bis zum 07.04.2024 vor. In diesem Artikel wurden ihre Vorgeschichte sowie die Beladung und die Umstände ihrer letzten Reise beschrieben.

Die Autoren bedanken sich bei Jasmin Alley, Direktorin des Ostfriesischen Landesmuseums Emden, für detaillierte Einblicke in die Geschichte der MELANIE SCHULTE und für die Idee, mit wissenschaftlichen Hilfsmitteln mehr über die Umstände des Unglücks herauszufinden.

9 Literaturverzeichnis

Baumann, H. H. E.: Rollresonanzen in seitlicher Dünen. In: Schiffstechnik, 267–281, 1961.

Coles, S. G.: An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values. London: Springer, 2001.

Cox, A.: Outer Hebrides SMR. Stand 05.07.2023. <https://marine.gov.scot/sma/region/outer-hebrides-smr#Location%20and%20basic%20information>, 2023.

Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt: MS „Melanie Schulte, 1953.

Eyres, D. J.: Ship Construction. 5. Woburn, MA: Butterworth-Heinemann, 2001.

Fonseca, N.; Guedes Soares, C.; Pascoal, R.: Structural loads induced in a containership by abnormal wave conditions. In: J Mar Sci Technol, 11, 245–259, 2006.

Forristall, G. Z.: On the Statistical Distribution of Wave Heights in a Storm. In: *Journal of Geophysical Research* 83 (C5), 2353–2358, 1978.

Forristall, G. Z.: Understanding rogue waves: Are new physics really necessary? In: *Rogue Waves: Proc. 'Aha Huliko'a Hawaiian Winter Workshop*. Honolulu, HI: University of Hawai'i at Manoa. 29–35, <http://www.soest.hawaii.edu/PubServices/2005pdfs/Forristall.pdf>, 2005.

Haver, S.: Evidences of the existence of freak waves. In: *Proc. Rogue Waves*. Brest, France: IFREMER, 2000.

Haver, S.; Andersen, O. J.: Freak waves: rare realizations of a typical population or typical realizations of a rare population? In: *The Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference*. Seattle, USA: International Society of Offshore and Polar Engineers, 2000.

Holthuijsen, L. H.: *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. ISBN 978-0-52-112995-4. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511618536>, 2007.

Jiang, X.: What happened to MOL Comfort?. SWZ/MARITIME. 13-16. https://www.researchgate.net/publication/271850189_What_happened_to_MOL_Comfort, 2015.

John, F. (Hg.): *Das Seesicherheits-Untersuchungs-Gesetz (SUG)*; [vom 16. Juni 2002, zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 22. November 2011]; aktualisierte Textausgabe 2012 und europäische Rahmenvorschriften. Hamburg, 2012.

Komen, G.; Cavaleri, L.; Hasselmann, H.; Hasselmann, S.; Janssen, P.: *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. Cambridge University Press, 1996.

Liang, J.; Lin, Z.: Ship Roll Behaviour in Large Amplitude Beam Waves. *Proceedings of the ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. St. John's, Newfoundland, Canada, 2015.

Longuet-Higgins, M. S.: On the statistical distribution of the heights of sea waves. In: *Journal of Marine Research* 11, 3, 245–266, 1952.

Nayfeh, A. H.; Khdeir, A. A.: Nonlinear Rolling of Ships in Regular Beam Seas. 01, 40–49, 1986.

Rockel, B.; Will, A.; Hense, A.: The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorol. Z.*, 347–348, 2008.

Spiegel, Der: Vom Atlantik zerquetscht. In: *Der Spiegel* (47 https://www.spiegel.de/wissenschaft/vom-atlantik-zerquetscht-a-1966c34b-0002-0001-0000-000025657986?sara_ref=re-xx-cp-sh), 1953.

Taylan, M.: The effect of nonlinear damping and restoring in ship rolling. In: *Ocean Engineering*, 921–932, 2000.

Teutsch, I.; Weisse, R.; Moeller, J.; Krueger, O.: A statistical analysis of rogue waves in the southern North Sea. In: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 2665–2680, [doi:10.5194/nhess-20-2665-2020](https://doi.org/10.5194/nhess-20-2665-2020), 2020.

Themelis, N.; Spyrou, K. J.: Probabilistic Assessment of Ship Stability Based on the Concept of Critical Wave Groups. In: Proceedings of the 10th International Ship Stability Workshop, doi:10.13140/2.1.3049.3440, 2008.

U+S Ausschuss der See-BG: Richtlinien für die Überwachung der Schiffsstabilität, 2003.

WAMDI-Group: The WAM model – a third generation ocean wave prediction model. In: J. Phys. Oceanogr., 1776–1810, 1988.

Waseda, T.; Hallerstig, M.; Ozaki, K.; Tomita, H.: Enhanced freak wave occurrence with narrow directional spectrum in the North Sea. In: Geophys. Res. Lett. 38, doi:10.1029/2011GL047779, 2011.

Wawrzyński, W.; Krata, P.: On ship roll resonance frequency. In: Ocean Engineering, 92–114, doi:10.1016/j.oceaneng.2016.08.026, 2016.

Weisse, R.; Gaslikova, L.; Geyer, B.; Groll, N.; Meyer, E. M. I.: CoastDat – Model Data for Science and Industry. In: Die Küste, 5–18, 2014.

Weisse, R.; Bisling, P.; Gaslikova, L.; Geyer, B.; Groll, N.; Hortamani, M.; Matthias, V. et al.: Climate services for marine applications in Europe. In: Earth Perspectives doi:10.1186/s40322-015-0029-0, 2015.