



ANALYSE DER BESONDEREN
TRANSPORTBEDINGUNGEN
AN BORD
Arbeitspaket 2.1

Projekt ALBERO

AP 2.1 Analyse der besonderen Transportbedingungen an Bord

Institut für Sicherheitstechnik / Schiffssicherheit e.V.

Schiffsbewegungen durch äußere Einflüsse

Die Schiffsbewegungen ergeben sich im Wesentlichen aus dem Wind und dem Seegang. Dabei kann sich das Schiff um alle drei Achsen bewegen:

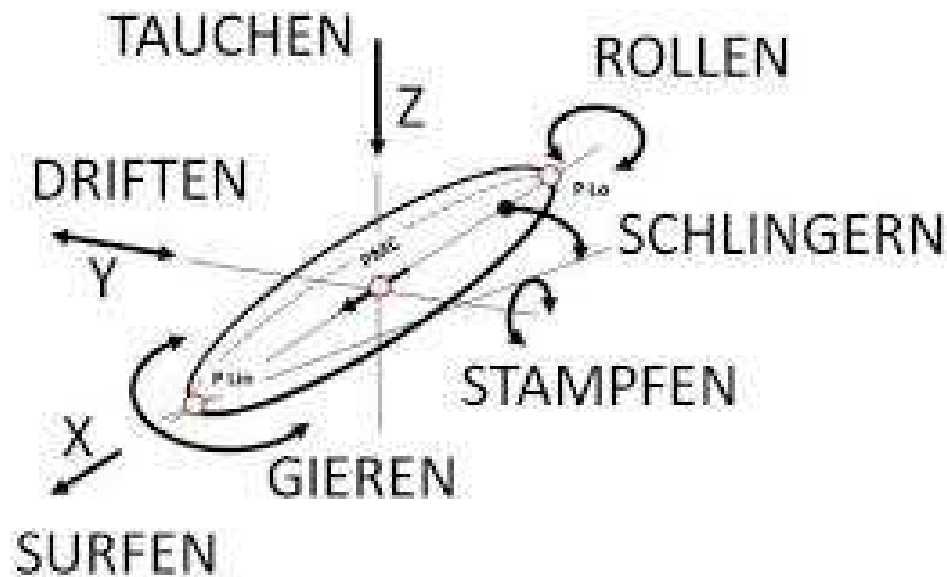


Abbildung 1: mögliche Schiffsbewegungen [1]

Es gibt langjährige Untersuchungen zu den Windverhältnissen in der Ostsee [2]. Dabei wurde auch die so genannte relative Sturmhäufigkeit r_{SH} ermittelt (Tabelle 1, Abbildungen 2 und 3) bezogen auf den Zeitraum 1950 – 2005. Dabei wird als Sturm eine Windstärke größer/gleich 8 Bft. definiert. Der r_{SH} -Wert bezeichnet also, wieviel Prozent eines Jahres Windstärken über 8 Bft. geherrscht haben. Dabei wird die Gesamtzeit des Jahres als Basis genommen.

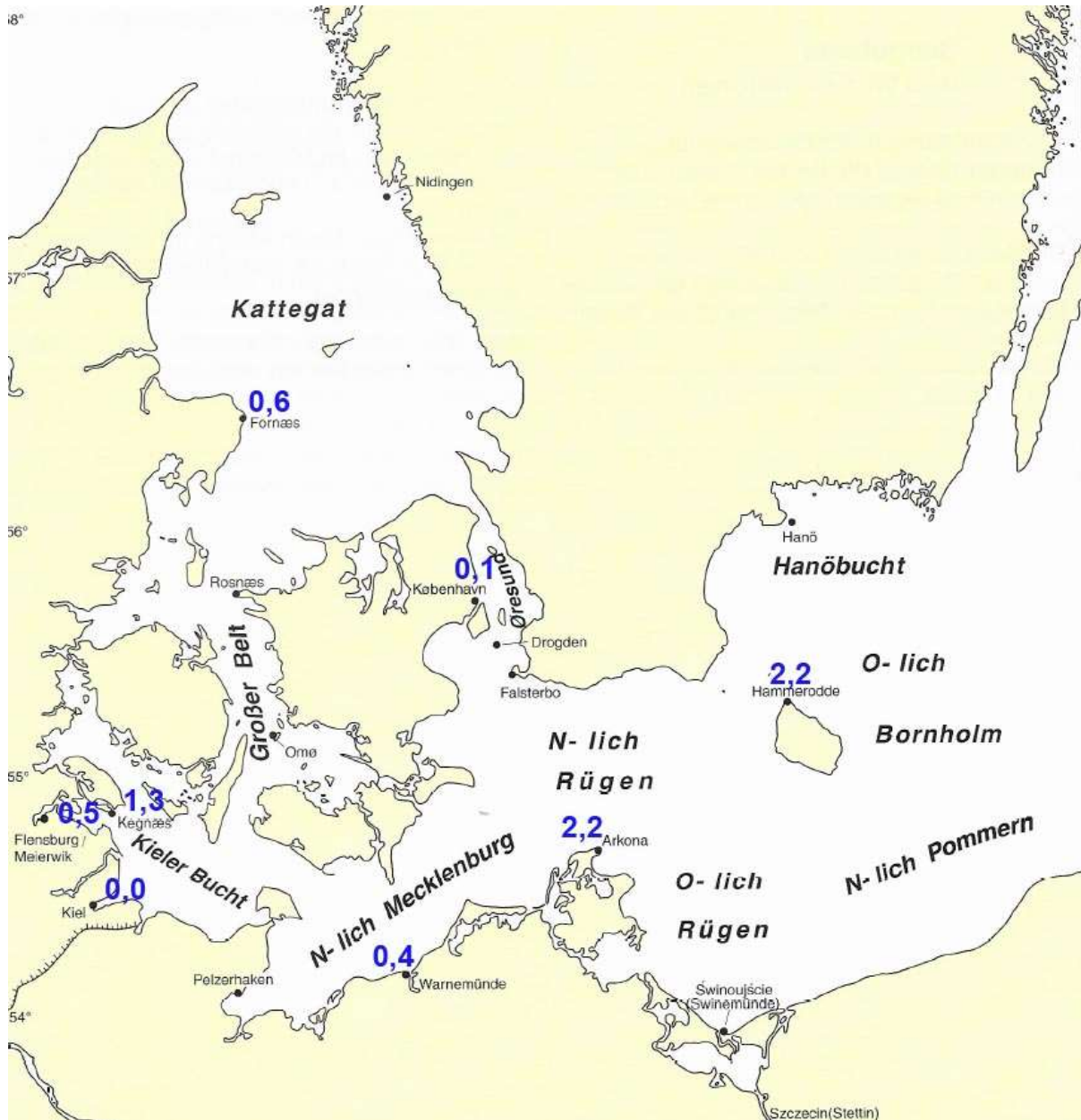


Abbildung 2: blau eingezeichnet: relative Sturmhäufigkeit in der westlichen Ostsee rSH % [2]



Abbildung 3: blau eingezeichnet: relative Sturmhäufigkeit in der östlichen Ostsee rSH % [2]

Gebiet	Fornaes	Kopen- hagen	Kegnaes	Flens- burg	Kiel	Warne- münde	Arkona	Hamme- rode
rSH [%]	0,6	0,1	1,3	0,5	0,0	0,4	2,2	2,2
Tage/Jahr	2,19	0,36	4,75	1,82	0	1,46	8,03	8,03

Gebiet	Klaipeda	Norra Udde	Lands- ort	Svenska Högarna	Kallbada- grund	St.Peters- burg	Market	Hapa- randa
rSH [%]	0,3	2,0	1,8	1,9	1,3	0,0	1,9	0,1
Tage/Jahr	1,09	7,3	6,57	6,93	4,74	0	6,93	0,36

Tabelle 1: relative Sturmhäufigkeit in der Ostsee rSH % [2], Umrechnung in Tage

Die dargestellte Analyse zeigt, wieviel Zeit des Jahres tatsächlich durchgängig Windstärken über 8 Bft herrschten. Andere Statistiken definieren einen Sturmtag als Sturmtag, wenn IRGENDWANN an diesem Tag eine Windstärke von mehr als 8 Bft geherrscht hat [3]. Das heißt, auch wenn nur für 1 Stunde am Tag diese Windstärke erreicht oder überschritten wurde, zählt der Tag als Sturmtag. Hier finden sich für die Ostsee folgende Werte (gemittelt 1981 – 2010):

Ort	Sturmtage
Boltenhagen	56
Warnemünde	51
Schleswig	42
Kap Arkona	117
Durchschnitt gesamte Ostsee	39

Tabelle 2: Sturmtage auf der Ostsee [3], Stand 19.02. 2019

Verknüpft man beide Statistiken, so kann man folgern, dass Arkona und Hammerode die stürmischsten Regionen in der Ostsee sind und dass entsprechend auf der gesamten Ostsee maximal ca. 117 Sturmtage pro Jahr zu erwarten sind, da dies der Wert für Arkona bzw. Hammerode ist. Es wird jedoch auch klar, dass das Sturmrisiko stark von der Fährverbindung abhängt. Die Linie Sassnitz-Trelleborg oder die Linien Kiel-Klaipeda durchqueren die stürmischsten Gebiete, die Linie Rostock-Gedser dagegen verläuft in sehr geschütztem Gebiet.

Die Wellenhöhe korreliert nicht 1:1 mit der Sturmstatistik, denn eine Welle benötigt auch freie Strecken, um sich aufzubauen. Für den Fährverkehr auf der Ostsee gilt u.a. das *Memorandum of Understanding for the Transport of Packaged Dangerous Goods on Ro-Ro Ships in the Baltic Sea (MoU)* [4] (siehe Datei Transport von Gefahrgut auf RORO-Fährschiffen). Darin werden Gebiete von geringer Wellenhöhe definiert: Ein Gebiet mit geringer Wellenhöhe (Low Wave Height Area – LWHA) ist ein Seegebiet, in dem die signifikante Wellenhöhe von 2,3 m in nicht mehr als 10 % des Jahres überschritten wird. Abbildung 4 zeigt die Verhältnisse in der Ostsee. Die im Projekt betrachteten Fährlinien nach Gedser bzw. Trelleborg befinden sich demnach alle in Gebieten mit geringer Wellenhöhe.

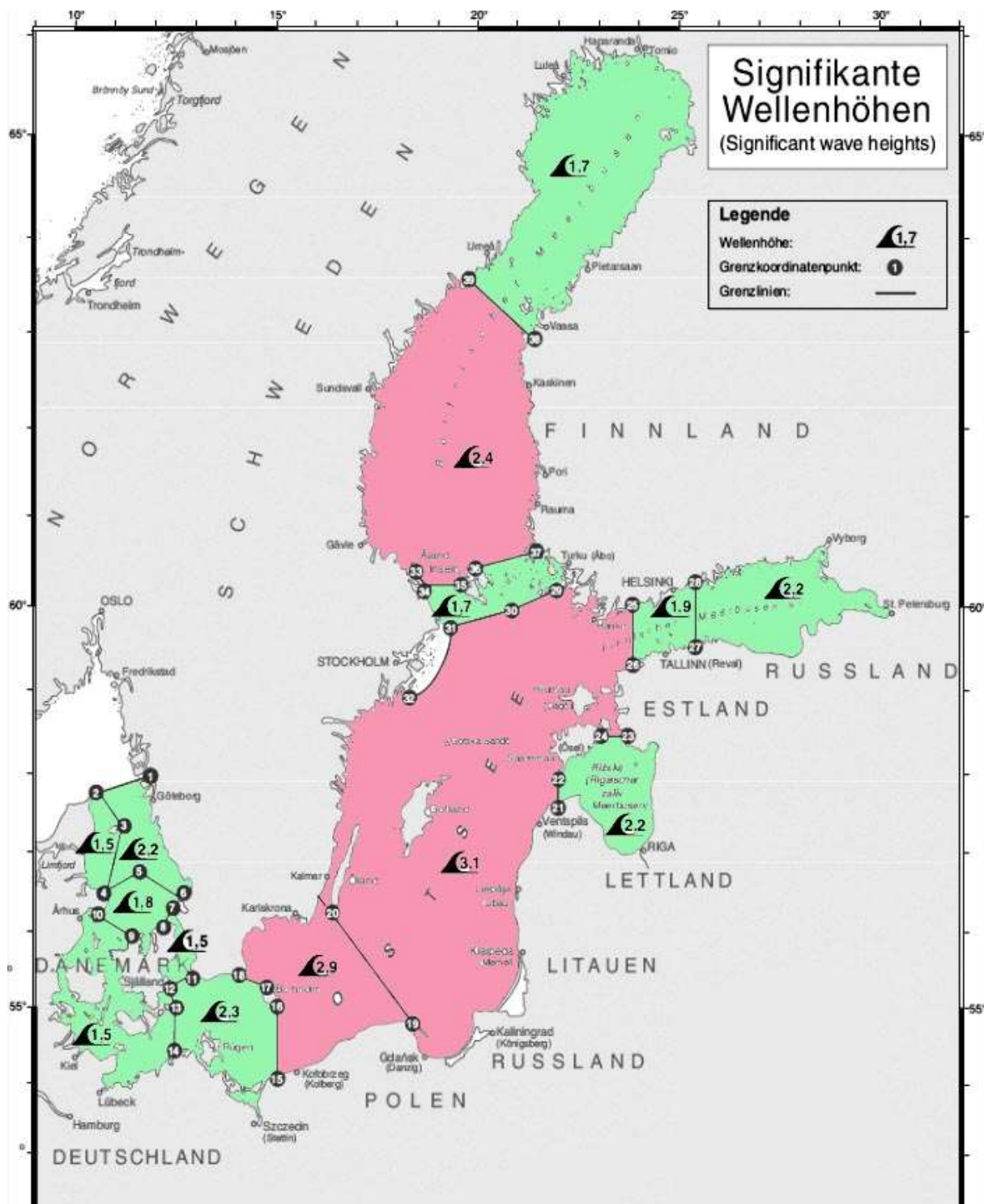


Abbildung 4: Low Wave height areas (grün) gemäß Definition im MoU [4]

Die zu erwartenden Rollwinkel hängen von vielen Faktoren ab: der Schiffsform, der Wellenhöhe, der Wellenfrequenz, der Wellenrichtung, dem Schwerpunkt des Schiffes u.a. Für ROPAX-Fähren gibt es Modellrechnungen zum Rollwinkel in Abhängigkeit von der Stauung der Fahrzeuge und damit vom Schwerpunkt [5]. Darin wurde ermittelt, dass für signifikante Wellenhöhen von 3m maximale Rollwinkel von 15° zu erwarten sind (Abbildung 5). Dies stellt jedoch einen absoluten Extremwert dar für einen sehr ungünstigen Beladungszustand (sehr großer Abstand zwischen Schwerpunkt und Rollachse $GM = 1,4$ m). Für einen typischen Beladungszustand ($GM = 0,6 - 1,0$ m) wurden für eine Wellenhöhe von 3 m maximale Rollwinkel von 10,5- 12,5° berechnet. Laut [2] sind in küstennahen

Gebieten der Ostsee auch bei Windstärke 8 maximale Wellenhöhen von 3m zu erwarten (in offenen Seegebieten der Ostsee bis zu 5,5 m). Die im Projekt betrachteten Fährlinien verkehren küstennah. Somit decken sich die Berechnungen mit den Aussagen der befragten Schiffsbesatzungen, wonach bei starkem Wind (also 3m Wellenhöhe) Rollwinkel von ca. 10° vorkommen können. Übertragen auf eine signifikante Wellenhöhe von 2,3 m, gemäß der Low wave height definition des MoU [4], ergeben sich 8 – 9,5°.

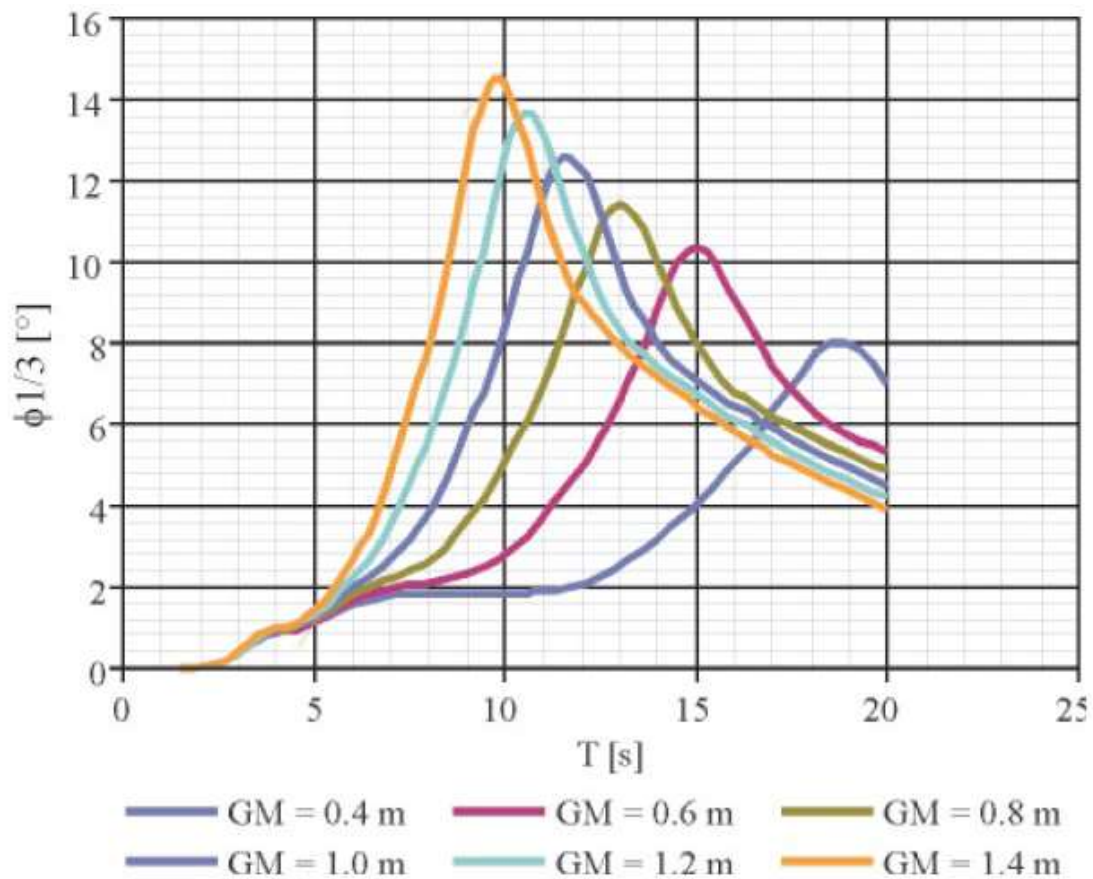


Fig. 3. Significant ship roll amplitudes in function of the characteristic wave frequency T, and: GM = var, Hs = 3 m, β = 60° (where: 0° – head wave, 180° – aft wave), v = 0 m/s

Abbildung 5: Rollwinkel in Abhängigkeit vom Beladungszustand für eine sign. Wellenhöhe von 3 m [5]

Abweichend vom Memorandum of Understandig geben die langjährigen Wetterstatistiken des BSH [2] für die westliche Ostsee durchschnittliche Wellenhöhen über das Jahr gerechnet von ca. 1,0 m an, in den Wintermonaten werden Monatsdurchschnitte von 1,5 m erreicht. Für solche Wellenhöhen ergeben sich Rollwinkel von 3,5 – 6°. Ausgehend von den Aussagen der Besatzungen, dass NUR bei starkem Seegang Rollwinkel von ca. 10° zu erwarten sind, scheint der Ansatz eines für den durchschnittlichen Normalbetrieb anzuwendenden Rollwinkels von 5° sinnvoll.

Der Rollwinkel ist verbunden mit der Rollzeit, dies ist die Zeit für eine vollständige Bewegung von der Mittellage des Schiffes bis zur Krängung auf die eine Seite, zurück zur maximalen Auslegung auf der anderen Seite und wieder zurück in die Mittellage. Für kleine Rollwinkel (kleiner 10°) ist die Rollzeit unabhängig von der Auslenkung [6], [7]. Dann gilt für die Berechnung der Rollzeit vereinfacht die Formel nach [7]:

$$T = (f \times B) / GM^{1/2}$$

Dabei ist f ein vom Schiffstyp und Beladungszustand abhängiger Faktor zwischen 0,7 und 0,9 und B die Breite des Schiffes (für das Fährschiff „Berlin“ $B = 24,8$ m). Setzt man ein mittleres $f = 0,8$ und ein $GM = 1$ m ein, so erhält man somit für kleine Winkel ($<10^\circ$) eine Rollzeit von ca. 20 Sekunden.

Salzgehalt und Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit über der Ostsee ist über das gesamte Jahr relativ konstant zwischen minimal 77% im Sommer und maximal 88 % im Winter. Der Durchschnittswert liegt bei 83% [2].

Der Salzgehalt der Ostsee setzt sich aus dem einströmenden Salzwasser der Nordsee und dem Süßwasser der Flüsse und des Regenwassers zusammen. Je weiter man sich nach Osten bewegt, desto geringer wird der Salzgehalt der Ostsee. So beträgt der Salzgehalt an der Küste Schleswig-Holsteins rund 1,5 bis 1,8 Prozent, während zwischen Schweden und Finnland nur noch 0,3 bis 0,5 Prozent gemessen werden, siehe Abbildung 6 [8]. Zum Vergleich: Die Nordsee hat einen Salzgehalt von 3,5 Prozent.



Abbildung 6: Salzgehalt der Ostsee [8]

Abbildung 6 zeigt Durchschnittswerte. Genauer betrachtet ändert sich der Salzgehalt auch deutlich mit der Wassertiefe, wobei er für tiefere Schichten zunimmt. Für das im Projekt betrachtete Seegebiet ist der Salzgehalt an der Oberfläche (Wassertiefe 0 – 20 m) bei ca. 1,0 % [2], [9].

Für den Salzgehalt in der Brandungsluft wurden Angaben von 1mg Salz pro Kubikmeter Luft gefunden. Dabei bezogen sich alle gefundenen Literaturstellen auf eine Bestimmung aus dem Jahr

1955 [10]. Da bereits der Salzgehalt des Wassers jedoch gering ist, ist davon auszugehen, dass auch der Salzgehalt der Luft sehr klein ist.

Vibrationen durch Antriebssysteme an Bord

Die Antriebssysteme an Bord (Propeller, Motoren und Hilfsmaschinen) erzeugen während ihres Betriebes Vibrationen. Die Grundfrequenz der Propeller liegt bei Festflügelpropellern mit einem Durchmesser zwischen 5 und 6 Metern um 20 Hz und bei Propellern zwischen 8 und 10 Metern Durchmesser bei 10 Hz. [11] Die Motorvibration wird durch die periodische Kolben- / Kurbelwellenbewegung verursacht. Anregungen, die durch freie Kräfte und Momente im Motor verursacht werden, können sich auf die Schiffsstruktur übertragen, insbesondere bei mittelgroßen Schiffen mit 2-Takt-Motoren. Schiffsmotoren schwingen, in Abhängigkeit von der Motorlast, hauptsächlich zwischen 3 und 100 Hz [11], [12] haben aber auch geringe Anteile in höheren Frequenzbereichen bis zu 300 Hz (Abbildung 7) oder mehr.

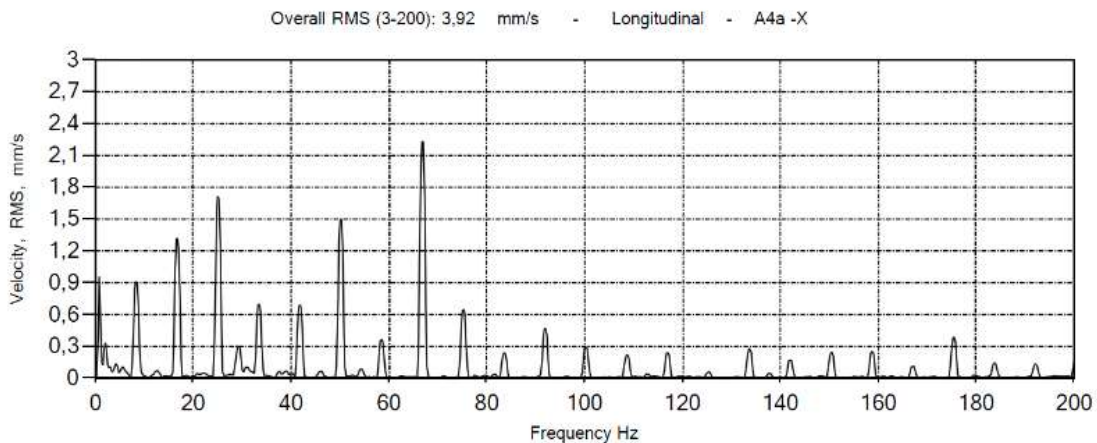


Abbildung 7: Frequenzspektrum der Vibrationen eines Schiffsmotors (Wärtsilä W32/34 V-Motor bei 100% Last) [12]

Zusammenfassung

Für die Überfahrt auf der Ostsee sind folgende Bedingungen zu erwarten:

	WORST Case gesamte Ostsee	Normal Case ALBERO-Szenario
Wellenhöhe	5,5 m	1,0 m
Rollwinkel	27°	5°
Rollzeit (GM = 0,6)	Keine lineare Abhängigkeit	Ca. 20 sec
Sturmtage	117	39
Luftfeuchtigkeit	88%	83%
Salzgehalt Wasser	Ca. 2 %	Ca. 1 %
Salzgehalt Luft	1mg/m ³	1 mg/m ³
Vibrationen	3 – 100 Hz	3 – 100 Hz

Tabelle: Zusammenfassung der Transportbedingungen – „worst case“ und „normal case“

In Anlehnung daran sollten Testbedingungen für Batterien bei einfachem Transport bzw. während des Ladens gestaltet werden.

Literatur

- [1] M. Dienst, "Über Lateralpläne, Resilienz und Seetüchtigkeit" <https://www.grin.com/document/415904>
- [2] Naturverhältnisse Ostsee, Teil B zu den Handbüchern für die Ostsee und das Kattegat, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie
- [3] <https://www.norddeutscher-klimamonitor.de/klima/1981-2010/jahr/mittlere-windgeschwindigkeit/ostseekueste/coastdat-2.html>
- [4] https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Gefahrgut/mou-2018.pdf?__blob=publicationFile
- [5] T. Cepowski "Influence analysis of changes of design parameters of passenger-car-ferries on their selected sea-keeping Qualities Polish Maritime Research1(63) 2010 Vol 17; pp. 25-32
- [6] H. Meier-Peter, F. Bernhardt (Hrsg) „Handbuch Schiffsbetriebstechnik“ 2. Auflage, DVV Media Group GmbH Hamburg, 2012, S. 1007
- [7] Kurt Illies „Handbuch der Schiffsbetriebstechnik“ Vieweg, 1970, S.487
- [8] <https://www.ostsee.de/schon-gewusst/salz.html>
- [9] <https://www.io-warnemuende.de/wird-die-ostsee-zum-suesswassermeer.html>
- [10] U. Jessel „Beiträge zur Spurenstoffchemie der Meeres- und Brandungsluft“, Archiv für Physikalische Therapie 1955, Vol. 7: 230-234
- [11] <http://textbook.ncmm.no/index.php/49-textbook-of-maritime-medicine/18-vibration/729-vibration-on-board-ships>
- [12] J. Örn „Vibration guideline for large diesel engines“ University of applied science, Vasaa, 2014