

# Anwendungsprojekt 15: Integration von Umweltdaten der Ostsee in die rou- tenspezifische Optimierung von Schiffsentwürfen

Katja Wöckner-Kluwe, Jörn Langheinrich, Thomas Stoye

Flensburger Schiffbau-Gesellschaft, Flensburg, Deutschland

## 1 Einleitung

Die im Fahrtgebiet eines Schiffes vorherrschenden Umgebungsbedingungen können einen großen Einfluss auf den Betrieb und die Wirtschaftlichkeit eines Schiffes haben. Durch Seegang kommt es zu Schiffsbewegungen, die im Extremfall für die Sicherheit des Schiffes kritisch werden können. Aber auch kleinere Bewegungen können für die Wirtschaftlichkeit des Schiffes bedeutsam werden. Durch Wind und Seegang kommt es zu einer Erhöhung des Schiffswiderstands gegenüber dem Fall in Glattwasser. Dadurch sinkt die erreichbare Schiffsgeschwindigkeit, wodurch der Fahrplan möglicherweise nicht mehr eingehalten werden kann und der Brennstoffverbrauch steigt. Aus diesen Gründen ist es wichtig, die zu erwartenden Umwelteinflüsse beim Schiffsentwurf zu berücksichtigen. Der vorliegende Bericht beschreibt ein solches Beispiel für die Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen in der Entwurfsphase. Betrachtet wird der Entwurf einer Fähre für die Route Stockholm-Riga. Verwendet werden Seegangsdaten, die im Rahmen des Projektes RADOST vom Helmholtz Zentrum in Geesthacht erstellt worden sind. Mit Hilfe von Simulationen wird bestimmt mit welcher Geschwindigkeit die Fähre unter Einwirkung des Seegangs noch fahren kann und mit welchen Schiffsbewegungen auf einer Überfahrt zu rechnen ist. Bei der Betrachtung der zu erwartenden Schiffsbewegungen wird dabei zunächst Seegang betrachtet, der üblich für das Seegebiet ist. Im Anschluss daran wird untersucht mit welchen Schiffsbewegungen in einem Sturm zu rechnen ist.

## 2 Entwurf einer Fähre für die Strecke Riga-Stockholm

Beispielhaft wird hier der Entwurf einer Fähre für die Strecke Riga-Stockholm betrachtet. Abbildung 1 links zeigt ein Bild des Schiffsrumpfes in Wellen. Die Route des Schiffes ist im rechten Teil der Abbildung zu sehen. Die Hauptdaten des Schiffes sind Tabelle 1 zu entnehmen. Das Schiff benötigt für eine Überfahrt ca. 18 Stunden. Bei einer Abfahrt am späten Nachmittag erreicht das Schiff somit am Vormittag des Folgetages den Zielhafen.

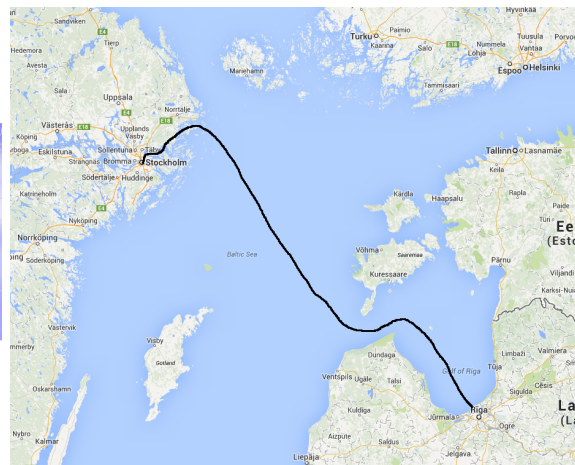
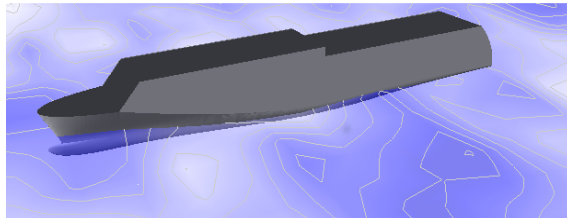


Abbildung 1: Visualisierung des Schiffsrumpfes in Wellen (linke Seite) und Route der Fähre (rechte Seite).

Parameter	Wert
L <sub>pp</sub>	142.3m
B	23m
T	4.9m
v	20.5kn
GM	4m
P	9000 kW

Tabelle 1: Hauptabmessungen der Fähre.

### 3 Umgebungsbedingungen

Die Umgebungsbedingungen, wie sie auf der Route des Schiffes auftreten, können Abb. 2 entnommen werden. Die abgebildete Tabelle zeigt die Häufigkeitsverteilung von Wellenhöhen/Wellenperioden Kombinationen. Basis dieser Verteilung sind Seegangsaufzeichnungen für den Zeitraum 1958-2002. Es handelt sich also um eine Langzeitverteilung der zu erwartenden Seegangsbedingungen. Zusätzlich soll noch betrachtet werden, wie

Peak Period [s]	Wave height [m]																Summe
	0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5		
0.62	2.20E+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.74	2.40E+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.90	1.10E+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.09	2.19E+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.32	2.07E+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.59	6.43E+4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
1.93	2.80E+5	1.10E+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2.33	1.16E+6	8.68E+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5
2.82	3.44E+6	2.24E+5	2.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.3
3.42	3.95E+6	3.32E+6	3.80E+3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.8
4.13	1.28E+6	5.09E+6	6.55E+5	3.76E+3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.6
5.00	3.54E+5	2.37E+6	2.79E+6	4.15E+5	1.38E+4	1.71E+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75.2
<b>6.05</b>	<b>1.09E+5</b>	<b>8.16E+5</b>	<b>1.47E+6</b>	<b>1.65E+6</b>	<b>5.38E+5</b>	<b>5.91E+4</b>	<b>4.31E+3</b>	<b>2.15E+2</b>	<b>6.00E+0</b>	0	0	0	0	0	0	0	88.9
<b>7.32</b>	<b>2.83E+4</b>	<b>2.07E+5</b>	<b>3.69E+5</b>	<b>5.42E+5</b>	<b>7.59E+5</b>	<b>5.68E+5</b>	<b>2.14E+5</b>	<b>4.62E+4</b>	<b>6.20E+3</b>	<b>1.18E+2</b>	0	0	0	0	0	0	97
<b>8.85</b>	<b>5.00E+3</b>	<b>2.51E+4</b>	<b>5.71E+4</b>	<b>8.63E+4</b>	<b>1.09E+5</b>	<b>1.35E+5</b>	<b>1.63E+5</b>	<b>1.45E+5</b>	<b>1.30E+5</b>	<b>1.98E+4</b>	<b>1.05E+3</b>	<b>1.60E+1</b>	0	0	0	0	99.6
10.71	2.39E+3	1.70E+3	3.78E+3	5.37E+3	6.98E+3	8.27E+3	9.17E+3	9.24E+3	2.30E+4	1.78E+4	8.60E+3	2.80E+3	5.94E+2	1.90E+1	0	0	99.9
12.96	4.43E+3	7.20E+1	2.47E+2	3.41E+2	3.02E+2	2.65E+2	3.11E+2	2.84E+2	5.80E+2	3.32E+2	2.09E+2	2.49E+2	2.39E+2	6.80E+1	2.00E+0	0	99.9
15.68	4.90E+3	1.20E+1	2.70E+1	9.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.9
18.97	3.07E+4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
22.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Summe	31.7	67.3	83.1	91.1	95.3	97.6	98.8	99.4	99.8	100	100	100	100	100	100	100	100

Abbildung 2: Langzeitverteilung der Seegangsdaten im Seegebiet zwischen Stockholm und Riga.

sich die Schiffsbewegungen während eines Sturms verändern. Betrachtet wird dabei der

25.1.2002. Die zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Windrichtungen und Wellenhöhen können Abb. 3 entnommen werden. Die Wellenhöhe erreicht dabei Werte von bis zu 10m. Bei diesem Ereignis handelt es sich um das Extremereignis hinsichtlich der Wellenhöhe aus dem betrachteten Aufzeichnungszeitraum. Wie aus Abb. 2 entnommen werden kann, sind Wellenhöhen von ca. 10m in dem betrachteten Gebiet äußerst selten. Die Wellen haben dann eine Periode von knapp 13s.

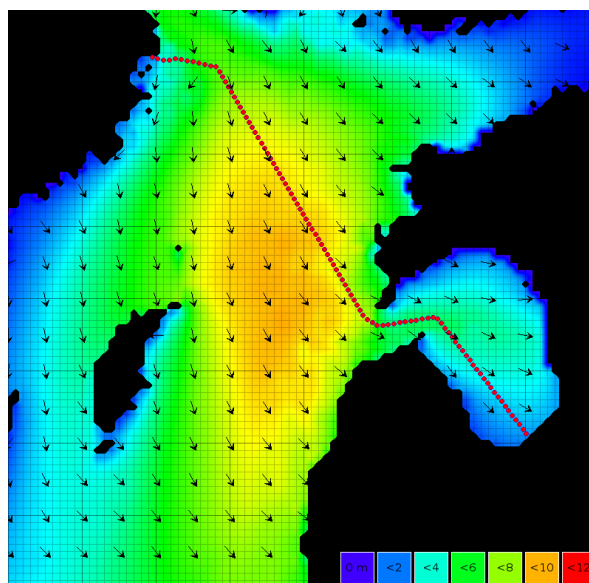


Abbildung 3: Extremereignis (Sturm) aus dem Aufzeichnungszeitraum. Die Farbskala zeigt die Wellenhöhe, die Pfeile die Windrichtung.

## 4 Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Schiffsgeschwindigkeit

Neben der Kenntnis der zu erwartenden Schiffsbewegungen (siehe Abschnitt 5), ist auch die Fahrplanteue eine wichtige Frage im Entwurfsstadium. Es soll daher analysiert werden unter welchen Bedingungen (i.A. Wellenhöhe), welche Geschwindigkeit gefahren werden kann. Berücksichtigt wird dabei sowohl die erforderliche Leistung zum Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit unter Glattwasserbedingungen, als auch der Zusatzwiderstand durch Wind und Wellen. Der linke Teil der Abb. 4 zeigt die Dauer für eine Überfahrt in Abhängigkeit der Wellenhöhe und der Hauptwindrichtung und damit der Hauptlaufrichtung des Seegangs. Die einzelnen Kurven zeigen jeweils Isolinien für eine Dauer der Überfahrt von Stockholm nach Riga. In dieser Fahrtrichtung fährt das Schiff hauptsächlich nach Südosten. Bei Wind aus nordwestlichen Richtungen hat die Fähre daher Rückenwind und ist folglich schneller. Der zweite Teil der Abbildung zeigt die Häufigkeitsverteilung der Wind- und Wellenrichtung im genannten Beobachtungszeitraum. Es zeigt sich, dass der Wind öfter aus westlichen und nördlichen Richtungen kommt als aus südlichen und östlichen. Auf der Fahrt von Stockholm nach Riga ist das Schiff daher im Mittel etwas schneller als in der Gegenrichtung. Damit die

Fähre auf der Fahrt von Riga nach Stockholm nicht zu häufig zu spät kommt, sollte für diese Richtung im Fahrplan eine längere Fahrtzeit eingeplant werden.

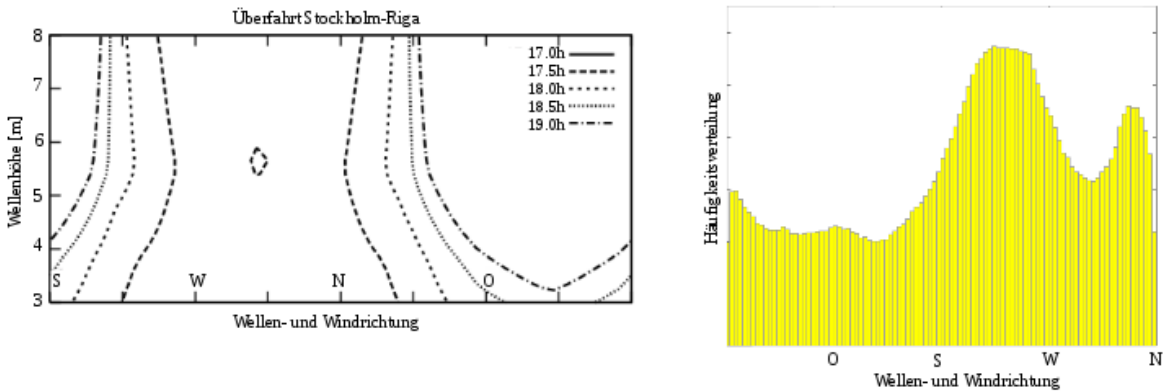


Abbildung 4: Fahrtdauer in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen (links) und Häufigkeitsverteilung der Wind- und Wellenrichtung (rechts).

## 5 Analyse der Schiffsbewegungen

Der folgende Abschnitt beschreibt anhand von Simulationsergebnissen mit welchen Schiffsbewegungen auf einer beliebigen Überfahrt zu rechnen ist. Dabei werden die folgenden Kriterien beachtet:

- Rollwinkel (RMS-Wert): Als Limit wird ein Wert von  $2.5^\circ$  als Komfortkriterium für Passagiere angesetzt.
- Stampfwinkel (RMS-Wert): Als Limit wird ein Wert von  $1.5^\circ$  als Komfortkriterium für Passagiere angesetzt.
- Rollwinkel (max. Wert): Verwendet wird der Wert des Rollwinkels, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% während einer Simulation nicht überschritten wird. Als Limit wird ein Wert von  $10^\circ$  angesetzt.
- Seekrankheit (MSI-Kriterium): Basiert auf frequenzgemittelten vertikalen Beschleunigungen. Es wird der prozentuale Anteil der Passagiere bestimmt, die seekrank werden. Für die Anwendung des Kriteriums wird angenommen, dass die Passagiere 6h dem Seegang ausgesetzt sind. Als Limit wird angesetzt, dass nicht mehr als 10% der Passagiere seekrank werden.

### Moderater Seegang

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen der Umgebungsbedingungen auf die Schiffsbewegungen betrachtet. Grundlage für die Auswahl der Seegänge ist Abb. 2. Wie

aus der Tabelle zu entnehmen ist, haben die meisten Wellen eine Höhe von kleiner als 4m und eine Periode von weniger als 9s. Bei sehr kleinen Perioden und damit Wellenlängen sind keine (oder nur sehr geringe) Schiffsbewegungen zu erwarten. Daher werden für die Simulationen die folgenden 3 Perioden ausgewählt:

- $T_p = 6s$ , damit ergibt sich eine Wellenhöhe von max. 5m,
- $T_p = 7.3s$ , damit ergibt sich eine Wellenhöhe von max. 6m,
- $T_p = 8.8s$ , damit ergibt sich eine Wellenhöhe von max 8m.

Damit ist die Mehrzahl der relevanten Kombinationen Wellenhöhe/Wellenperiode aus der Langzeitverteilung abgedeckt. Die Simulationen werden für 7 Begegnungswinkel zwischen  $0^\circ$  (achterlicher Seegang) und  $180^\circ$  (vorlicher Seegang) und das Geschwindigkeitsspektrum zwischen 0kn und 20kn durchgeführt. Einige ausgewählte Ergebnisse der Simulationen finden sich in Abb. 5 und Abb. 6

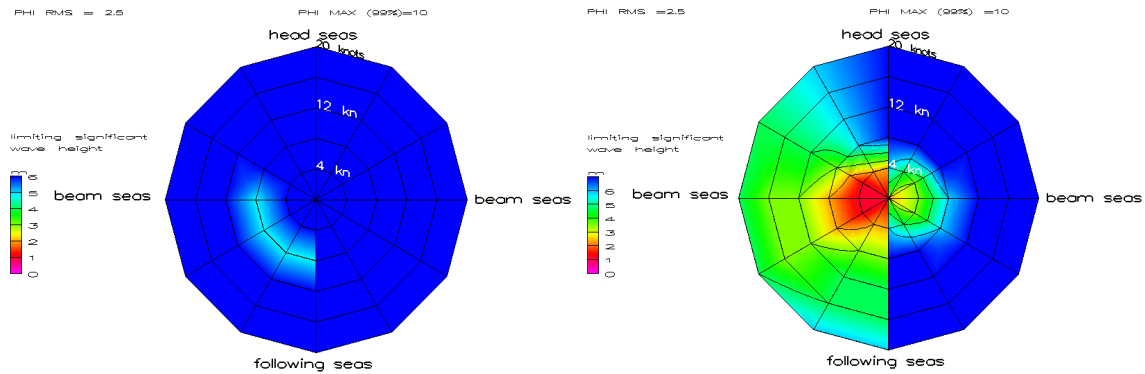


Abbildung 5: Polardiagramme für  $T_p = 7.3s$  (links) und  $T_p = 8.8s$  (rechts). Die Farbskala zeigt die limitierende Wellenhöhe für einen RMS-Wert der Rollbewegung von  $2.5^\circ$  (linke Seite) und einen maximalen Rollwinkel von  $10^\circ$  (rechte Seite).

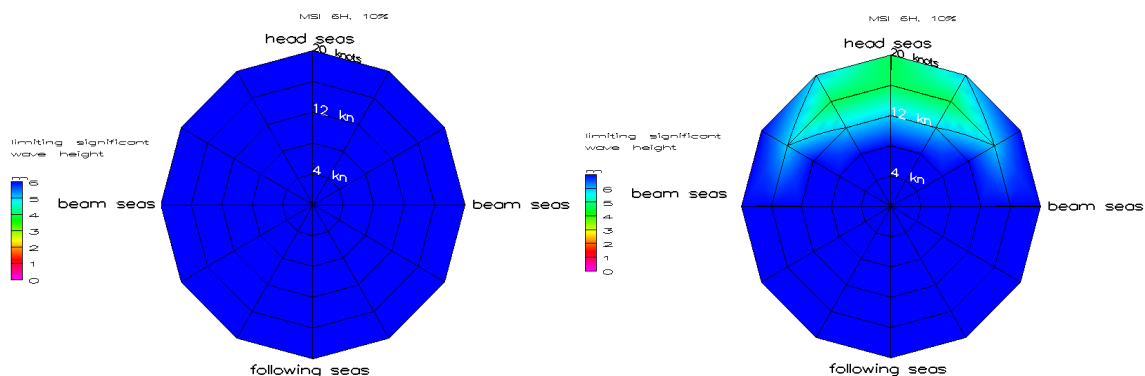


Abbildung 6: Polardiagramme für  $T_p = 7.3s$  (links) und  $T_p = 8.8s$  (rechts). Die Farbskala zeigt die limitierende Wellenhöhe für das MSI-Kriterium.

In den Polardiagrammen ist die Schiffsgeschwindigkeit in radialer Richtung aufgetragen, der Begegnungswinkel in Umfangsrichtung. Die Farbskala zeigt die limitierende Wellenhöhe für ein bestimmtes Kriterium. Bei Wellenhöhen größer als die limitierende

Wellenhöhe wird das Kriterium somit nicht mehr erreicht - der berechnete Rollwinkel in der Simulation ist dann z.B. größer als das angegebene Limit. Die linke Bildseite in Abb. 5 zeigt dabei das Kriterium  $\phi_{RMS} = 2.5^\circ$  und die rechte Bildseite das Kriterium  $\phi_{max} = 10^\circ$ . Der maximale Rollwinkel ist dabei der Rollwinkel, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% während der Simulation nicht überschritten wird. Die Ergebnisse zeigen, dass der RMS-Wert des Rollwinkels insbesondere bei kleinen Schiffsgeschwindigkeiten schon bei kleinen Wellenhöhen ( $<2\text{m}$ ) größer als das Limit von  $2.5^\circ$  wird. Da kleine Geschwindigkeiten ( $< 4\text{kn}$ ) vornehmlich in der Nähe der Häfen und damit in geschützten Bereichen gefahren werden, stellt dieses Ergebnis keine große Einschränkung des Schiffsbetriebs dar. Bei Dienstgeschwindigkeit ( $20\text{kn}$ ) liegt die limitierende Wellenhöhe von beiden Rollwinkel-Kriterien bei  $4\text{-}7\text{m}$  und damit in dem Bereich der max. vorkommenden Wellenhöhen. Die Komfortkriterien werden daher im normalen Betrieb in vielen Situationen nicht verletzt. Die Polardiagramme für das MSI-Kriterium zeigen insgesamt hohe limitierende Wellenhöhen. Die Gefahr, dass die Passagiere seekrank werden, kann damit als gering eingeschätzt werden. Bei moderaten Seegängen kann also davon ausgegangen werden, dass die Passagiere die Schiffsbewegungen während einer Überfahrt in den meistem Fällen nicht als unangenehm empfinden.

## Schwerer Seegang

Abbildung 7 vergleicht die berechneten RMS-Werte für Rollen und Stampfen zwischen den Seegangsbedingungen, wie sie am 25.1.2002 gemessen wurden, mit denen die üblicherweise im Seegebiet auftreten. Für den schweren Seegang wird eine Wellenperiode von  $T_p = 12.96\text{s}$  angenommen, da bei dieser die größten Wellenhöhen in Tabelle 2 zu finden sind. Für den moderaten Seegang wird eine Periode von  $T_p = 8.8\text{s}$  ausgewählt. Dort ist mit Wellenhöhen bis zu  $8\text{m}$  zu rechnen.

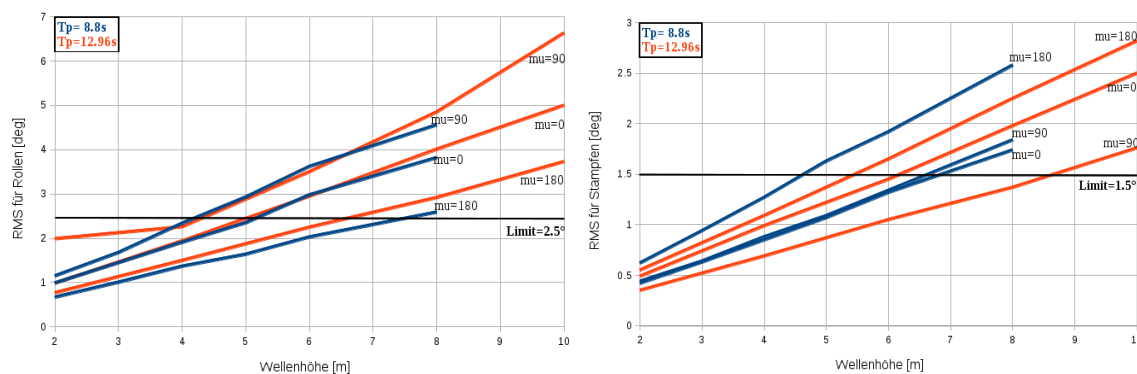


Abbildung 7: Abhängigkeit des Rollwinkels (links) und des Stampfwinkels (rechts) von der Wellenhöhe. Aufgetragen sind die Daten für 2 Wellenperioden und jeweils 3 Begegnungswinkel.

Die Diagramme zeigen die berechneten Werte für die RMS-Werte der Roll- und Stampfamplituden in Abhängigkeit der Wellenhöhe. Die blauen Kurven zeigen die Ergebnisse für den moderaten Seegang mit einer Periode von  $T_p = 8.8\text{s}$  und die roten Kurven repräsentieren die Amplituden, die im Sturm auftreten. Für jede Periode sind die Ergebnisse für  $\mu = 180^\circ$  (vorlicher Seegang),  $\mu = 90^\circ$  (Seegang von der Seite) und  $\mu = 0^\circ$  (achterlicher Seegang) aufgetragen. Während die Komfortkriterien (Rollen  $< 2.5^\circ$  und Stampfen

$<1.5^\circ$ ) im moderaten Seegang nur in wenigen Fällen überschritten werden, liegen die berechneten Werte während des Sturms doch deutlich über dem Limit. In diesen Fällen werden die Schiffsbewegungen von den Passagieren überwiegend als unangenehm empfunden.

## 6 Rolldämpfungsmaßnahmen zur Reduzierung der Schiffsbewegungen

Zur Reduzierung der Rollbewegungen insbesondere in schwerem Seegang wird das Schiff mit Stabilisierungsflossen ausgestattet. Damit lassen sich die in Abb. 8 Reduzierungen der Bewegungsamplituden gegenüber Abb. 7 erreichen. Das Diagramm zeigt, dass durch den Einsatz der Flossen auch in sehr schwerem Seegang das Komfortkriterium für die Passagiere hinsichtlich des Rollwinkels eingehalten werden kann. Da Flossen den Widerstand des Schiffes deutlich erhöhen, sollten die Flossen als einschwenkbare Flossen ausgeführt werden, damit sie nur bei entsprechenden Wetterbedingungen genutzt werden.

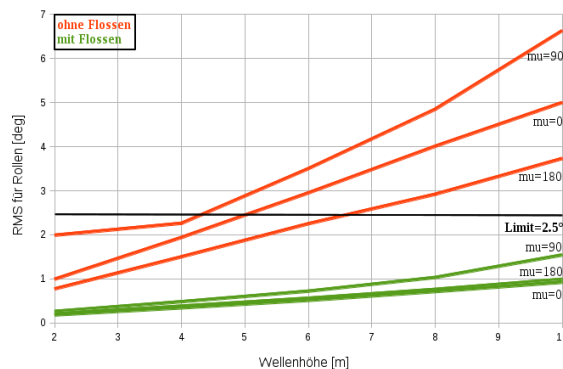


Abbildung 8: Abhängigkeit des Rollwinkels von der Wellenhöhe. Verglichen werden die berechneten Rollwinkel mit und ohne Flossen bei  $T_p = 12.96$  (Sturm).

## 7 Zusammenfassung

Der Bericht beschreibt wie Aufzeichnungen über Seegangsbedingungen beim Schiffsentwurf genutzt werden können. Am Beispiel einer Fähre für die Strecke Riga-Stockholm konnte gezeigt werden mit welchen Schiffsbewegungen während des Betriebs gerechnet werden muss und dass die Integration von zusätzlichen Rolldämpfungsmaßnahmen (Flossen) sinnvoll ist um das Komfortkriterium für die Passagiere hinsichtlich der Rollbewegung auch bei schwerem Wetter einhalten zu können. Ohne Kenntnis der Umgebungsbedingungen sind auch die auftretenden Schiffsbewegungen unbekannt und zusätzliche Rolldämpfungsmaßnahmen werden möglicherweise nicht integriert. Darüber hinaus wurde betrachtet, wie sich die Umgebungsbedingungen auf die Fahrtdauer der Fähre auswirken. Unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung der Wind- und Wel-

lenrichtung lassen sich somit Rückschlüsse über die zu erwartenden Verspätungen ziehen.