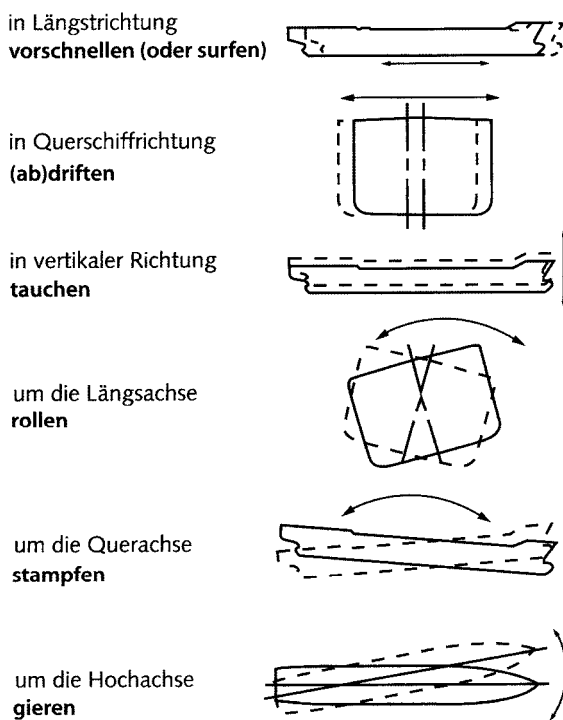


## 1.4 Schiffsbewegung und Seeverhalten<sup>1</sup>

Ein Seeschiff trifft nur selten auf ruhiges Wasser. Daher spielt das Seeverhalten eines Schiffes eine wichtige Rolle. Unter diesem Begriff werden alle Reaktionen des Schiffes auf den Seegang zusammengefasst.

Die auffälligste Reaktion des Schiffes auf Seegang sind Schiffsbewegungen. Diese treten in sechs möglichen Bewegungsrichtungen auf, die miteinander gekoppelt und wie folgt bezeichnet werden:



**Bild 1.4-1 Schiffsbewegungen**

Wie stark sich ein Schiff auf See bewegt, ist abhängig von dem Seegang, d. h. von der Länge, Höhe und Laufrichtung der Wellen, und von den Eigenschaften des Schiffes, wie Form und Massenverteilung. Im Allgemeinen reagiert ein Schiff am stärksten auf Wellen, die ungefähr so lang sind wie das Schiff (ca. halbe bis doppelte Schiffslänge).

Ganz grob sind zur Beurteilung bzw. Berechnung des Seegangsverhaltens von Schiffen folgende Kräfte und Momente (der Einfachheit halber wird nachfolgend immer der Begriff „Kräfte“ verwendet) vorrangig: *erregende Kräfte durch die Wellen auf das Schiff, Rückstellkräfte und Dämpfungskräfte.*

Ein anschauliches Beispiel für eine Rückstellkraft ist das Bestreben des Schiffes (oder auch einer kleinen Boje), nach einem von äußeren Kräften verursachten Tiefertauchen wieder in die Ausgangsschwimmelage zurückzukehren. Nur bei drei der sechs Bewegungsrichtungen, nämlich der Tauch-, Stampf- und Rollbewegung, treten Rückstellkräfte auf.



**Bild 1.4.-2 Bordwand mit Schlingerkiel und Wallschiene<sup>2</sup>**

Dämpfungskräfte entstehen vor allem durch Reibung zwischen Schiff und Wasser und Wirbelbildung im Wasser durch die Bewegung des Schiffes. Dämpfungskräfte „bremsen“ die Bewegung des Schiffes. Ohne Dämpfung würde ein Schiff, einmal angestoßen, ewig Weiterschaukeln. Bei den typischen Schiffsformen ist die Dämpfung vor allem bei der Rollbewegung von Bedeutung. Da die in die Schiffsform „eingebaute“ Dämpfung eher klein ist, werden bei den meisten Schiffen Schlingerkiele angebaut, die beim Rollen zusätzlich Wirbel erzeugen und somit die Rollbewegung dämpfen.

<sup>1</sup> *Quelle:* Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. (Hrsg.): Schiffstechnik und Schiffbautechnologie; Hamburg: Seehafen Verlag GmbH, 2006, 2. Aufl.; ISBN 3-87743-817-2, S. 14ff

<sup>2</sup> *Bildquelle:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Schlengerkiel>

Wallschiene: kräftigere Ausführung einer Scheuerleiste. Eine oder mehrere an der Außenseite des Schiffes herumlaufende, besonders verstärkte Planke(n) oder Leiste aus Holz, Metall oder Kunststoff oberhalb

Bei Fahrt im Seegang gibt es verschiedene Phänomene, die bei der Bewertung des Seeverhaltens von Schiffen berücksichtigt werden sollten. Welche Phänomene für ein bestimmtes Schiff wichtig sind, hängt von den gewünschten Eigenschaften des Schiffes ab. Eine Bewertung erfolgt hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden nachfolgend einige typische Zusammenhänge erläutert.

Wichtige Bewertungskriterien bezüglich der Wirtschaftlichkeit eines Schiffes sind zum Beispiel

- die Fahrplantreue und/oder
- der Komfort an Bord.

Während die Fahrplantreue für viele Schiffe (z. B. Containerschiffe und RoRo-Schiffe) von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist, spielt der Komfort hauptsächlich bei Passagierschiffen eine Rolle.

Speziell bei Kursen gegen die See ist der Zusatzwiderstand durch die Wellen und die resultierenden Schiffsbewegungen zu berücksichtigen. Mit zunehmender Seegangstärke steigen die benötigte Antriebsleistung und damit der Brennstoffverbrauch, um eine bestimmte Schiffsgeschwindigkeit zu halten. Daher wird ein Schiff typischerweise mit einer gewissen Reserve in der Antriebsleistung entworfen. Ist diese Antriebsreserve aufgebraucht, wird das Schiff langsamer und kann eventuell den Fahrplan nicht halten. Bei Schiffen mit großer Reserve können andere Umstände, z. B. eine zu große Belastung der Schiffsstruktur, eine Fahrtreduktion notwendig machen. Die Konsequenz ist die gleiche: der Fahrplan kann nicht gehalten werden.



**Bild 1.4-3:**  
**Flossenstabilisator<sup>3</sup>**

Das Wohlbefinden der Passagiere an Bord eines Schiffes ist wichtig für den Ruf der Reederei und natürlich den Umsatz (z.B. in den Restaurants) an Bord. Da Aktivitäten wie Tanzen oder Essen für ungeübte Seefahrer schon bei mäßigen Rollwinkeln sehr schwierig sind, sind Passagierschiffe in der Regel mit Flossenstabilisatoren ausgerüstet, die die Rollbewegung dämpfen. Seekrankheit<sup>4</sup> wird vor allem durch Beschleunigungen ausgelöst.

Zur Bewertung sind hier die vertikalen Beschleunigungen durch die Tauch- und Stampfbewegung maßgeblich. Weil die durch die Stampfbewegung verursachten Beschleunigungen in vertikaler Richtung mittschiffs am geringsten und am Bug am größten sind, fühlen sich die meisten Passagiere bei Seegang auch mittschiffs am wohlsten.

Sind keine Flossenstabilisatoren vorhanden oder aktiv, spielt für den Komfort auch die Rollbewegung eine große Rolle. Hier unterteilt man Schiffe in „steif“ und „weich“. Steife Schiffe sind Schiffe mit einer großen Anfangsstabilität. Dadurch sind die Rückstellmomente und damit auch die Beschleunigungen groß, die Rollperiode ist kurz. Dieser „Stehaufmännchen-Charakter“ wird von den meisten Menschen als unkomfortabel empfunden. Weiche Schiffe

---

der Wasserlinie. Sie dient als Fender und schützt den Rumpf beim Anlegen oder Längsseitsgehen. In historisch verlässlichen Quellen (Korth, Pâris) wird auch oft der heute veraltete Begriff Barg- oder Barkholz verwendet. Falsch dagegen ist der Begriff **Bergeholz**.

<sup>3</sup> *Bildquelle:* <http://www.bv-industrie.de/products/stabilizers/finStabSType.cfm>

<sup>4</sup> Unter **Reisekrankheit**, **Kinetose** oder auch **Bewegungskrankheit** versteht man verschiedene Symptome wie Müdigkeit, Schwindel, Kopfschmerz, Übelkeit und Erbrechen, die bei der Fortbewegung in einem Verkehrsmittel auftreten. *Seekrankheit* ist die bekannteste Form der Reisekrankheit. Jedoch sind Reisekrankheiten keineswegs auf Schiffsreisende beschränkt.

Als Ursache der Reisekrankheit ist gemeinhin anerkannt, dass die über den Gleichgewichtssinn im Innenohr wahrgenommenen Bewegungen bzw. Beschleunigungen (Schaukeln, Stöße, etc.) in Konflikt stehen mit den Eindrücken, die andere Sinnesorgane wie z.B. die Augen vermitteln.

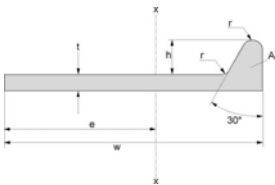
*Quelle:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Reisekrankheit>

zeichnen sich durch eine geringe Anfangsstabilität und damit kleine Beschleunigungen beim (Wieder-) Aufrichten und eine lange Rollperiode aus.

Bei der Betrachtung der Sicherheit macht sich dieser Unterschied ebenfalls bemerkbar. Bei weichen Schiffen muss geprüft werden, ob das Schiff ausreichend (Wieder-)Aufrichtvermögen auch in steilen Seegängen hat. Bei steifen Schiffen ist die Ladungssicherheit vorrangig.

Durch (zu) große Querbeschleunigungen kann die Ladung verrutschen und so auch das Schiff selbst gefährdet werden.

**Schlingerkiele** (vgl. Bild 1.4-2) sind an beiden Seiten eines Schiffes fest angeschweißte flache Stahlschienen, die die schlingierenden Bewegungen des Schiffes dämpfen sollen. Meist wird ein senkrecht auf den Rumpf aufgeschweißtes Hollandprofil als Schlingerkiel verwendet. Die Schlingerkiele sind in der Position der Kimm, also dem Übergang des Schiffsbodens in den Seitenwänden angebracht. Sie verlaufen meist nur im Bereich des parallelen Mittelschiffes, also auf der größten Breite des Schiff



Das **Hollandprofil**<sup>5</sup> ist ein flaches Stahlprofil mit einer am Ende einer Flachseite befindlichen Verdickung. Diese Verdickung (Wulst) läuft über die gesamte Profillänge. Aufgrund des Wulstes bezeichnet man das Hollandprofil als *Wulstprofil* bzw. *Wulstflachstahl*. Das Hollandprofil gehört zu den warmgewalzten Profilen und wird vorzugsweise im Schiffbau in den dafür vorgeschriebenen **Stahlsorten** verwendet. Die

(nicht mehr aktuelle) Maßnorm DIN 1019 enthält 40 Abmessungen von 80 mm bis 430 mm Breite und 6 mm bis 17 mm Dicke; die neue Norm ist die EN 10067.

### 1.4.1 Kentern

Bei der Bewertung der Schiffssicherheit im Seegang gibt es zwei Hauptthemengebiete: die Bewertung der Kentergefahr und die Belastung der Schiffsstruktur.

Ein Schiff kentert, wenn es auf einen so großen Winkel rollt, dass es sich nicht wieder aufrichten kann. Prinzipiell kann jedes Schiff kentern, wenn der Gewichtsschwerpunkt nur weit genug oben liegt oder die Wellen beliebig hoch sind.

Besonders (kenter)gefährlich sind drei Phänomene: *Rollresonanz*, *Stabilitätsverlust* und *Querschlagen*.

Bei einer Schaukel kann man große Auslenkungen mit wenig Kraftaufwand erzeugen, indem man immer genau im richtigen Moment ein wenig Schwung gibt. „Im richtigen Moment“ heißt, dass man die Schaukel in ihrer Eigenperiode anstößt, jeder andere Takt würde zu kleineren Schwingungen führen. Die Rolleigenperiode eines Schiffes ist die Rollperiode,

mit der ein Schiff rollt, wenn man es nur einmal anstößt und dann frei rollen lässt. Und auch hier gilt: Wird das Schiff in der eigenen Rollperiode von den Wellen erregt, schaukelt es sich schnell auf. Diesen Fall nennt man Resonanz.

Das heißt für das Schiff im Seegang: Nicht die höchsten Wellen erzeugen gleichzeitig auch die größten Rollwinkel und Rollbeschleunigungen, sondern passende Wellengruppen, die das Schiff in der Rollresonanz treffen.

<sup>5</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Hollandprofil>

Bildquelle: [www.universal-stahl.de/Lieferprogramm/Warmgewalzter\\_Wulstflachstahl\\_HPProfile.htm](http://www.universal-stahl.de/Lieferprogramm/Warmgewalzter_Wulstflachstahl_HPProfile.htm)



Kommen die Wellen schräg oder genau von achtern<sup>6</sup>, sind zusätzliche Phänomene wichtig. Vor allem schlankere Schiffe mit breitem Heck und großem Spantausfall im Vorschiff können durch die im Seegang auftretenden Stabilitätsschwankungen gefährdet werden. Befindet sich ein Schiff in einer längs laufenden Welle mit seiner Mitte auf dem Wellenberg, tauchen Heck und Bug aus, und die Stabilität des Schiffes wird geringer. Bei einigen Schiffen ist dieser Stabilitätsverlust so groß, dass sie kentern, wenn sie nur lange genug auf dem Wellenberg verharren. Dies kann der Fall sein, wenn ein Schiff ungefähr mit der Geschwindigkeit vorausfährt, mit der sich auch der Wellenberg bewegt.

Befindet sich ein Schiff in einer längs laufenden Welle, mit seiner Mitte hingegen in einem Wellental, tauchen Heck und Bug weit ein und die Stabilität wird größer. Entspricht nun die Begegnungsperiode zwischen Schiff und Wellen der ganzen oder der halben Rolleigenperiode, kann sich das Schiff durch die Stabilitätsschwankungen resonant aufschaukeln: Im Wellental sind die Rückstellkräfte besonders groß - das Schiff wird also mit viel Kraft aufgerichtet. Auf dem Wellenberg hat das Schiff dann ordentlich Schwung in der Rollbewegung, aber kleinere Rückstellkräfte, so dass sich die Rollbewegung weiter verstärkt. Dieses Phänomen nennt man parametrische<sup>7</sup> Erregung.

Vor allem bei kleineren Schiffen in hohem (schräg) achterlichem Seegang ist außerdem auf die Gefahr des Querschlagens zu achten. Wenn ein Schiff in achterlichem Seegang die Welle hinunter fährt und dabei ungefähr so schnell wie die Welle ist, kann es passieren, dass die verbleibende Ruderwirkung nicht ausreicht, um den Kurs zu halten. Läuft das Schiff in solch einer Situation aus dem Kurs, passiert dies aufgrund der hohen Geschwindigkeit mit viel Schwung und endet erst, wenn das Schiff quer zur See liegt. Durch die entstehenden Kräfte holt das Schiff kräftig über oder kentert sogar.

#### 1.4.2 Belastung der Schiffstruktur

Neben der Schiffsicherheit in Bezug auf extreme Rollwinkel oder Kentern spielen natürlich auch die auf die Schiffsstruktur wirkenden Kräfte eine wichtige Rolle. Diese müssen bei der Konstruktion und Dimensionierung des Schiffes berücksichtigt werden, damit das Schiff auch raue Bedingungen möglichst schadlos übersteht.

Taucht zum Beispiel der vordere Teil des Rumpfes weit aus, wird das Schiff entsprechend auf Biegung belastet. Wenn das Vorschiff nun mit einer hohen Relativgeschwindigkeit zwischen Wasser und Schiff wieder eintaucht, kann es zu so genanntem „Slamming“ kommen. Dies kann man mit einem „Bauchklatscher“ im Schwimmbad vergleichen. Im Falle von Slamming entstehen vor allem in Bereichen, die dem Wasser viel Fläche bieten (z. B. der Schiffsboden oder stark ausfallende Spanten), lokal große Druckbelastungen, die zum Beulen der Stahlplatten führen können. Schwere Slammingstöße können darüber hinaus das ganze Schiff in Schwingungen versetzen.

Vor allem bei starken Tauch- und Stampfbewegungen kann zudem „grünes Wasser“ an Deck kommen - ganz besonders bei Schiffen mit wenig Freibord. Sowohl „grünes Wasser“, das infolge des Abtauchens des Bugs an Deck schwappt, als auch solches, das infolge von Wellen direkt über das Deck spült, kann große Schäden an der Decksausrüstung sowie der Ladung an Deck verursachen.

Eine allgemein gültige optimale Seegangsform für Schiffe gibt es nicht, dafür sind die Anforderungen an Schiffe im Allgemeinen und deren Seegangsverhalten im Speziellen zu unterschiedlich und zum Teil auch widersprüchlich. Für jeden Entwurf muss somit eine individu-

<sup>6</sup> **Achtern** ist alles, was auf einem Wasserfahrzeug *achterlicher als querab* liegt (hinter der Mitte; vorn ist der Bug, hinten das Heck) – das **Achterschiff**

<sup>7</sup> Hebelarm und Gewichtskraft sind Einflussgrößen, die das Stabilitätsmoment bestimmen. Solche Größen bezeichnet man als Parameter.



elle Bewertung erfolgen. Als Bewertungswerkzeuge stehen heutzutage Simulationen und Modellversuche zur Verfügung.



**Bild 1.4-4:**  
 Supertanker *Esso Languedoc* im Sturm vor Durban, Süd Afrika (1980)<sup>8</sup>

**Bild 1.4-5:**  
*Grand Voyager* in schwerem Wetter (2005)

„Weh, wie fürchterlich Zeus den ganzen Himmel in Wolken  
 Hüllt und das Meer aufregt! Wie sausen die wütenden Stürme  
 Aller Enden daher! Nun ist mein Verderben entschieden! 305

...  
 Also sprach er; da schlug die entsetzliche Woge von oben  
 Hochherdrohend herab, dass im Wirbel das Floß sich herumriß;  
 Warf ihn weit vom Floß in die See, es fuhr ihm das Steuer 315  
 Aus den Händen fort und mit einmal stürzte der Mastbaum  
 Krachend hinab vor der Wut der fürchterlich sausenden Windsbraut.  
 Weithin flog in die Wogen die Rah' und das flatternde Segel.“<sup>9</sup>

Nach der Blendung des Zyklopen Polyphem verfolgt dessen Vater – der Meeresgott Poseidon – den leidgeprüften Helden Odysseus mit Stürmen und Freak-Wellen, mit Monstern und Seeungeheuern wie Skylla und Charybdis.



**Bild 1.4-6: Odysseus zwischen Skylla und Charybdis** (rechts: Fresko von Alessandro Allori, 1560)

<sup>8</sup> Bilder 1.4-4 ... 1.4.6 und Text Odyssee: Günter Clauss: Tsunamis, Monsterwellen und andere Seeungeheuer; Referat auf der 100. Hauptversammlung der Schiffbautechnischen Gesellschaft e. V. (STG);  
 Bild 1.4-4 auch: <http://www.innovations-report.de/html/berichte/geowissenschaften/bericht-31640.html>  
 Bild 1.4-5 auch: [http://www.esys.org/news/grand\\_voyager.html](http://www.esys.org/news/grand_voyager.html);  
 Odyssee: <http://de.wikipedia.org/wiki/Odyssee>

<sup>9</sup> Homer: Odyssee – Fünfter Gesang; Berlin und Darmstadt: Deutsche Buch-Gemeinschaft, 1957; S. 75



## Letzte Fahrt der "MV Explorer"<sup>10</sup>



Die "Explorer" auf einer früheren Reise durch die Antarktis. Das Schiff wurde 1969 in Finnland gebaut und war eigentlich für die Fahrt durch Eis ausgestattet. Die "Explorer" war das erste speziell für Expeditionen angefertigte Kreuzfahrtschiff und zuletzt 1993 generalüberholt worden. (Foto: AFP)



Die "Explorer" war am Freitagmorgen (23.11.2007) vor der argentinischen Küste in der Antarktis mit einem Eisberg zusammengestoßen. Bereits wenige Stunden nach der Kollision hatte sie schwere Schlagseite. (Foto: dpa)



Stunden nach dem Zusammenstoß berühren die Aufbauten der "Explorer" auf der Steuerbordseite bereits die Wasseroberfläche. (Foto: AFP)

<sup>10</sup> Die «MV Explorer» war in den eiskalten Gewässern nahe der Südlichen Shetland-Inseln mit einem Eisberg kollidiert und sank 15 Stunden nach der Kollision (24.11.2007).

Bildquelle: <http://www.tagesschau.de/ausland/kreuzfahrtschiff12.html>



Aus dem Hubschrauber ist zu erkennen, wie stark sich die "Explorer" bereits geneigt hat. (Foto: AFP)



Blick auf die Backbordseite des sinkenden Kreuzfahrtschiffs (Foto: AFP)



An Bord befanden sich mehr als 150 Menschen. Die Passagiere und Besatzungsmitglieder konnten mit Rettungsbooten auf zur Hilfe gerufenen Schiffen in Sicherheit gebracht werden. (Foto: dpa)