

# Integrative Wechselwirkung von Numerischer Optimierung und dem schiffbaulichem Entwurfsprozess

Ralf Tschullik<sup>1\*</sup>, Max Haase<sup>1</sup>, Pentscho Pentschew<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl Schiffbau/Stahlbau, Universität Rostock

## Zusammenfassung

Die ganzheitliche Verbesserung des Verkehrsträgers Schiff ist in Deutschland trotz des heute schon vorhandenen hohen Grades an Komplexität von großer Bedeutung zum Ausbau der guten globalen Marktposition.

Im Rahmen der virtuellen Produktentwicklung von Schiffskörperkonstruktionen bedeutet dies schnelle, zuverlässige und rechnerbasierte Methoden, gestützt auf analytische und numerische Verfahren, die immer mehr von direkten Berechnungen (First-Principles) getragen werden. Diese wiederum sind dann Grundlage einer anschließenden Optimierungsrechnung. Die Automobil- und Luftfahrtindustrie setzt die verschiedenen Verfahren der Strukturoptimierung bereits seit einigen Jahren erfolgreich ein. Damit diese Entwicklung aber auch auf die schiffbauliche Produktentwicklung übertragen werden kann, gilt es die im Schiffbau vorhandenen Besonderheiten zu berücksichtigen. Der vorliegende Beitrag setzt sich mit der Integration numerischer Optimierungen aus schiffbaulicher Sicht auseinander. Zudem werden am Beispiel von Rahmenspannten Möglichkeiten und Potential etwai-ger Optimierungsmethoden erläutert.

**Keywords:** Schiffsentwurf, Stahlstruktur, Schiffsstruktur, Numerische Optimierung

---

\* Kontakt: Dipl.-Ing Ralf Tschullik, Universität Rostock, Albert-Einstein-Str 2, D-18059 Rostock, E-Mail: [ralf.tschullik@uni-rostock.de](mailto:ralf.tschullik@uni-rostock.de)

# 1 Einleitung

Schiffe sind hochspezialisierte Konstruktionen die ihrer Transportaufgabe, der Ladung, sowie dem Einsatzgebiet sehr genau angepasst sind. Neben dem Transport von standardisierten Einheiten (Containern), Flüssigladung, Passagieren, Massen- oder Schüttgut oder Fahrzeugen, können schiffs- und messtechnische Konstruktionen auch für Serviceleistungen auf See (Schlepper, Versorger, Bohrrigs) konzipiert sein. Als Besonderheit ist der Betrieb in zwei verschiedenen Medien -Wasser und Luft- hervorzuheben. Dadurch werden besondere Anforderungen an die Form des Schiffes gestellt, um Ansprüchen der Hydrodynamik und Hydrostatik gerecht zu werden, welche sich wiederum auf die Dimensionierung der Schiffstruktur auswirken.

Im Gegensatz zu Produkten anderer Industriezweige, handelt es sich im Schiffbau immer um den Bau von Quasi-Prototypen, sowie Klein- und Kleinstserien, welche durch stetigen Konkurrenzdruck in sehr kurzer Zeit projektiert, konstruiert und produziert werden müssen (siehe Abbildung 1). Bereits in den ersten vier Wochen der Initial Designphase werden fast 80% der Gesamtkosten festgelegt (Krüger 2001). Hinzu kommt, dass die Produktion in einer bestehenden Produktionsanlage stattfindet, so dass bereits im Entwurfsstadium auf eine entsprechende Kompatibilität geachtet werden muss (Gimperlein und Bruckmann 2002). Dies erfordert präzise und zuverlässig arbeitende CAD-Tools (Computer Aided Design) um steigende Kosten durch Ungenauigkeiten in der frühen Entwurfsphase zu vermeiden.

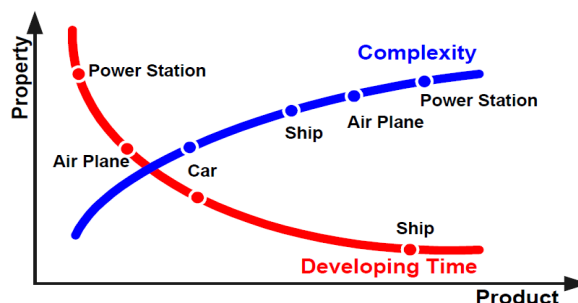


Abbildung 1: Komplexität und Entwicklungszeiten technischer Produkte.

Es konnte bereits gezeigt werden, dass mit Hilfe von numerischen Optimierungsalgorithmen das Stahlvolumen von Schiffen signifikant reduziert werden kann (Riedel 2003). Jedoch ist dieses Verfahren nie in kommerzielle Entwurfsprozesse mit eingebunden worden. Auf die Besonderheiten schiffbaulicher Strukturen und zu implementierender Restriktionen soll im Weiteren eingegangen werden um den Einsatz numerischer Optimierungsverfahren im Entwurfsprozess des Schiffes weiter voranzutreiben.

## 2 Virtuelle Produktentwicklung im Schiffbau

Der Entwurf eines Schiffes stellt einen iterativen Prozess dar. Die sich widersprechenden Anforderungen an Hydrodynamik, Hydrostatik und Festigkeit müssen vom Schiff erfüllt werden.

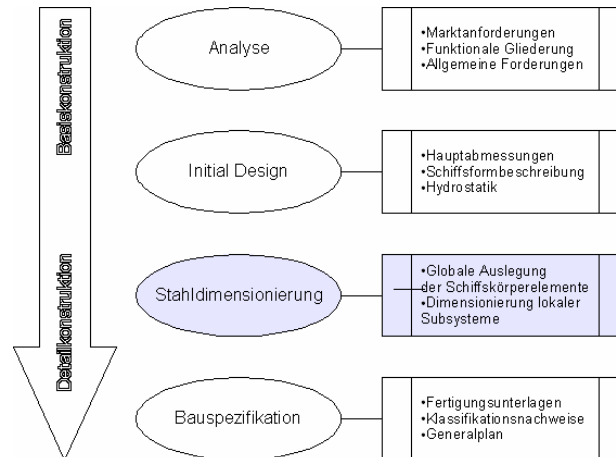


Abbildung 2: Idealisierte Reihenfolge im Prozessablauf beim Schiffsentwurf.

Als erstes stellt sich in der Initial Designphase die Problemstellung der Hauptabmessungen und des Linienentwurfs. Die Verhältnisse von Länge, Breite und Tiefgang bestimmen die Performance des Schiffes. So hat ein großes Verhältnis von Länge zu Breite einen positiven Einfluss auf den hydrodynamischen Widerstand, bringt aber aufgrund der höheren Anforderungen an die Längsfestigkeit des Rumpfes eine höhere Schiffsmasse und Fertigungskosten, sowie eine geringe hydrostatische Stabilität mit sich, welche oftmals die Ladekapazität beschränkt. Ebenfalls die Anforderungen nach einer hohen Tragfähigkeit stehen im Widerspruch zu einer hydrodynamisch günstigen Form des Rumpfes. Weitere Randbedingungen für den Entwurf sind die Abmessungsbegrenzungen und Produktionsbedingungen in der Werft, die erforderlichen Ladefälle und Spannungsrestriktionen nach der betreuenden Klassifikationsgesellschaft.

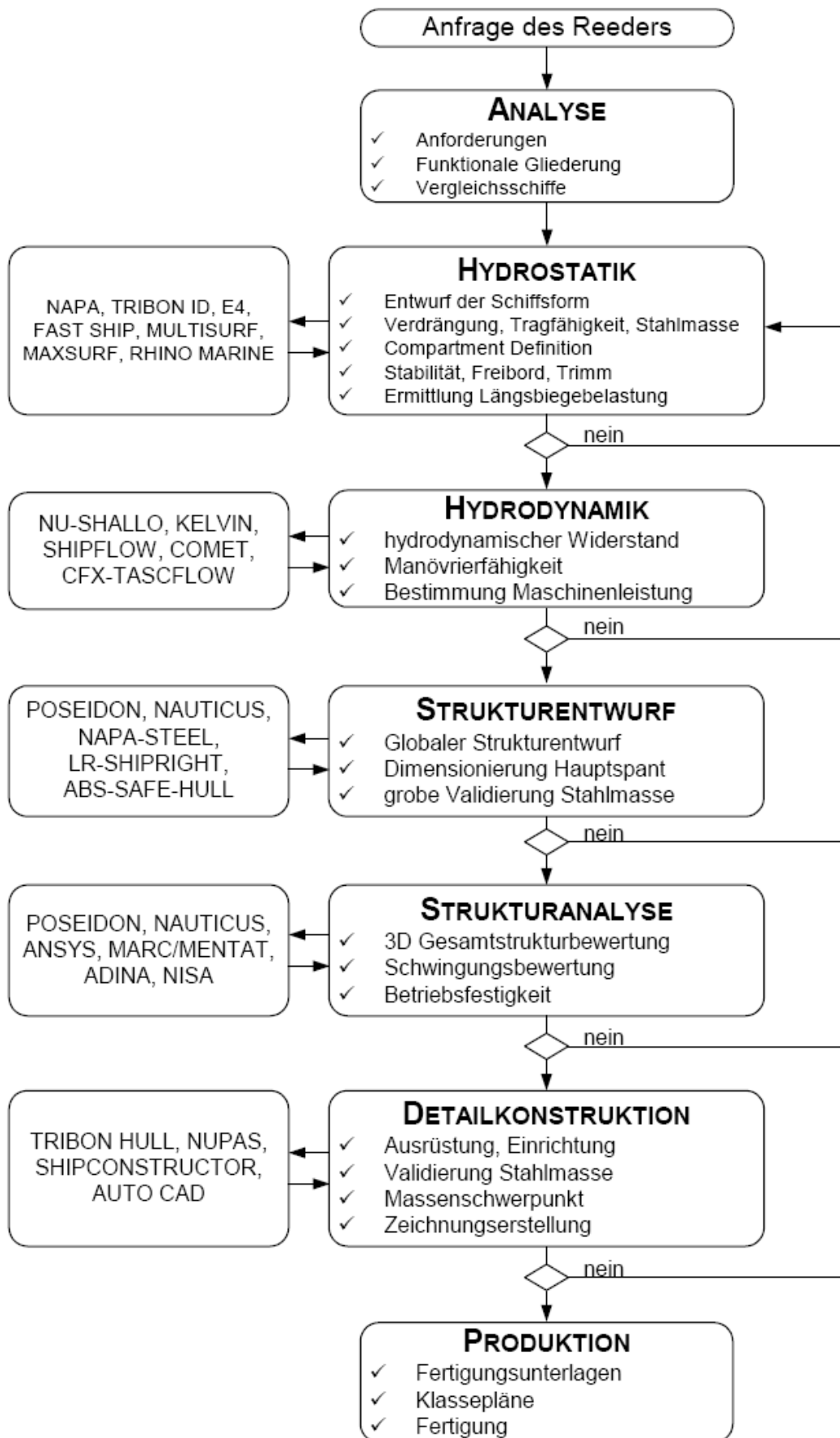


Abbildung 3: Flowchart zum iterativen Schiffsentwurfsprozess  
 Weimarer Optimierungs- und Stochastiktag 5.0 – 20./21. November 2008

Kann die Schiffsform die durch den Auftraggeber in der Spezifikation festgelegten Parameter, wie Hauptabmessungen, Tragfähigkeit und Dienstgeschwindigkeit erfüllen, können bei bestimmten Annahmen bezüglich der Masse des Stahls und der Ausrüstung, die zur Dimensionierung notwendigen Belastungen, in der so genannten Basic Designphase, berechnet werden. Nach einem Entwurf zur Stahlstruktur müssen die Annahmen zur Stahlmasse validiert oder gegebenenfalls korrigiert werden, um in den folgenden Iterationsschritten eine ausreichend genaue Abschätzung für die Masse zu erhalten. Dies kann durch die Designspiral (Abbildung 2) veranschaulicht werden. In der dritten Phase, der Detail Designphase werden dann die Detailkonstruktionen realisiert und die Masse kann mit Hilfe rechnergestützter Methoden vorausberechnet und entsprechende Fertigungszeichnungen erstellt werden. Markant im Schiffbau ist der Einsatz von verschiedener, nicht direkt gekoppelter CAD-Software in den einzelnen Designphasen. Diese Phasen sind zeitlich nicht eindeutig von einander getrennt, sondern gehen ineinander über, um der Forderung nach schnelleren Konstruktionszeiten gerecht zu werden.

Kann die Schiffsform die durch den Auftraggeber in der Spezifikation festgelegten Parameter, wie Hauptabmessungen, Tragfähigkeit und Dienstgeschwindigkeit erfüllen, können bei bestimmten Annahmen bezüglich der Masse des Stahls und der Ausrüstung, die zur Dimensionierung notwendigen Belastungen, in der so genannten Basic Designphase, berechnet werden. Nach einem Entwurf zur Stahlstruktur müssen die Annahmen zur Stahlmasse validiert oder gegebenenfalls korrigiert werden, um in den folgenden Iterationsschritten eine ausreichend genaue Abschätzung für die Masse zu erhalten. Dies kann durch den Flowchart (Abbildung 3) veranschaulicht werden. In der dritten Phase, der Detail Designphase werden dann die Detailkonstruktionen realisiert und die Masse kann mit Hilfe rechnergestützter Methoden (überschlägig) vorausberechnet und entsprechende Fertigungszeichnungen erstellt werden. Markant im Schiffbau ist der Einsatz verschiedener, nicht direkt gekoppelter CAD-Software in den einzelnen Designphasen. Schiffbauliche Software arbeitet überwiegend mit der 2,5D-Projektion ähnlich der Drei-Tafel-Projektion.

Die Entwurfsphasen sind zeitlich nicht eindeutig von einander getrennt, sondern gehen ineinander über, um der Forderung nach schnelleren Konstruktionszeiten gerecht zu werden.

### **3 Dimensionierung der Schiffsstruktur**

#### **3.1 Topologie**

Schiffe sind komplexe Verbände aus Flächentragwerken, welche aus ebenen oder gekrümmten Stahlblechen bestehen und mit Hilfe von standardisierten Profilen in Längs- oder Querrichtung versteift werden. Erstere wird bei globaler Belastungsdominanz bevorzugt und ist technologisch effizienter zu fertigen, während Querversteifungen in Bereichen mit überwiegend lokaler Belastung, wie Bug- oder Hecksektionen, eingesetzt wird. Während das Schiff von der Außenhaut begrenzt wird, finden sich im Inneren vertikale tragende Strukturen wie Längs- und Querschotte der Laderäume oder Kabinen und horizontale Decksstrukturen, die die

Kompartments in vertikaler Richtung begrenzen und die globale Längsfestigkeit mit beeinflussen. Großflächige lokale Beanspruchungen werden von der versteiften Außenhaut aufgenommen und über Querbauteile wie Rahmenspannten und Bodenwrangen und durch Längsbauteile, wie Stringer und Bodenlängsträger in die Gesamtstruktur übertragen.

### 3.2 Lastannahmen

Um Annahmen für die Längsbiegebeanspruchung des Schiffskörpers im Betrieb zu erhalten, werden je nach Klassifikationsgesellschaft aus diversen Ladefällen und Seegangsszenarien (GL 2008) Maximalwerte für eine quasistatische Biege- und Querkraftbeanspruchungen ermittelt, welche durch die inkonsistente Verteilung von hydrostatischer Auftriebskraft im Seegang und der Gewichtskraft durch die Schiffsmasse und Ladung hervorgerufen werden (siehe Abbildung 3). Die größten Belastungen für die globale Schiffsstruktur in Längsrichtung entstehen in längs laufender See, wenn die Wellenlänge der Schiffslänge entspricht. Dabei sind die Fälle Hogging, das Schiff befindet sich auf dem Wellenberg und Sagging, das Schiff befindet sich im Wellental, ausschlaggebend (siehe Abbildung 4).

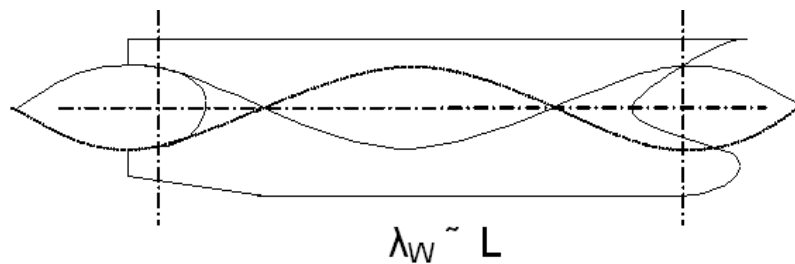


Abbildung 4: Belastung des Schiffskörpers durch Wellen

Hinzu kommen Beanspruchungen durch den statischen Wasserdruck und impulsartige Belastungen an der Außenhaut durch Slamming an Bug, Boden, Deck und Heck, welches Längsbiegemomente induziert, die von der Schiffsgeschwindigkeit abhängig sind.

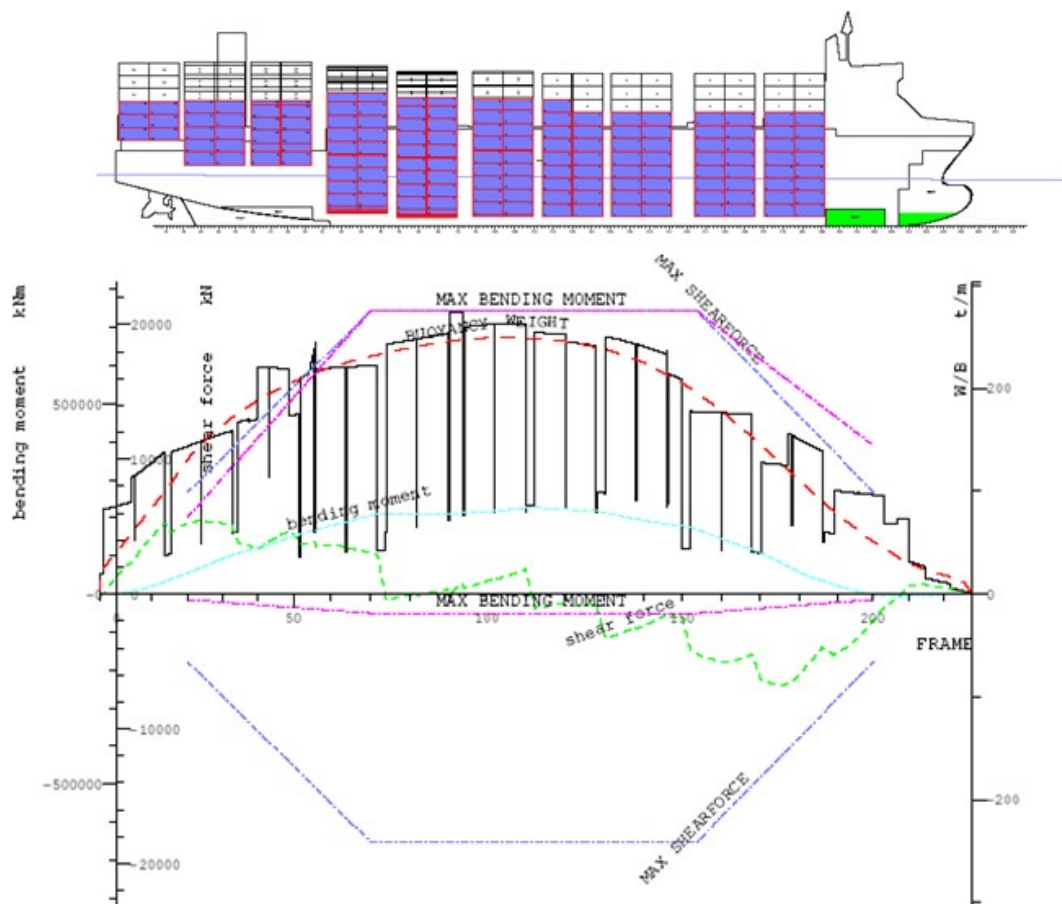


Abbildung 5: Momentenbelastung infolge Verteilung von Masse und Auftrieb im Glattwasser

Die dynamische Antwort des elastisch deformierbaren Schiffskörpers auf Slamming ist sogenanntes Whipping; abwechselndes Auftreten von Sagging und Hogging verursacht Springing. Als quasistatische Lasten angenommen, wird aus den ermittelten Belastungen der Hauptspant im Mittschiffsbereich entworfen, an dem das maximale Längsbiegemoment auftritt.

### 3.3 Dimensionierung

Die im Schiffbau gutachterlich auftretenden Klassifikationsgesellschaften besitzen in Bezug auf den Entwurf und die regelmäßige Kontrolle von Schiffen hoheitliche Aufgaben.

Obwohl sich die Rechentechnik in den letzten Jahren stark weiterentwickelt hat, existieren nach wie vor zwei Methoden zur Dimensionierung der Schiffsstruktur. Das traditionelle Auslegen entsprechend den Bemessungsvorschriften der Klassengesellschaften beruht auf Regeln und Formeln mit zum Teil statistischem und stochastischem Anteil. Daraus resultieren auch Unterschiede in den Konstruktionen hinsichtlich der Bemessung verschiedener Klassifikationsgesellschaften. Daneben wird die im schiffbaulichen Entwicklungsprozess schon lange bekannte Berech-

nung mit der Methode der Finiten-Elemente (im Designprozess „First Principles“ genannt) immer bedeutender.

Es sollen an dieser Stelle sollen am Beispiel der Bodenbeplattung die von der Klassifikationsgesellschaft restriktierenden Formeln veranschaulicht werden.

Die hochgradig komplexe Schiffsstruktur wird zunächst vereinfacht. Für die globale Belastung wird der Schiffskörper als elastischer Balken mit kastenförmigem Querschnitt idealisiert, woraus sich das Hauptdeck und die Bodenstruktur als Gurtungselemente erweisen und die Außenhaut im Seitenbereich und Innenlängschotte die Funktion des Steges übernehmen. Um lokale Beanspruchungen an der Schiffsstruktur im Dimensionierungsprozess zu berücksichtigen, werden einfache strukturmechanische Modelle als Äquivalent zur realen Topologie eingeführt, um die vielseitigen Strukturkomponenten in analytisch bestimmbare Systeme zu reduzieren. Lediglich besonders stark lokal belastete Bereiche an Bug und Heck, die nur mit großen Ungenauigkeiten nach den vereinfachten Modellen auslegt werden, ist immer eine Validierung mit Hilfe der FE-Analyse (Finite Elemente) erforderlich (Krüger 1998). Lokale Lasten können auch durch Fahrten im Eis hervorgerufen werden, daher sind bei Schiffen in bestimmten Gebieten Eisverstärkungen der Außenhaut im Wasserlinienbereich vorzusehen.

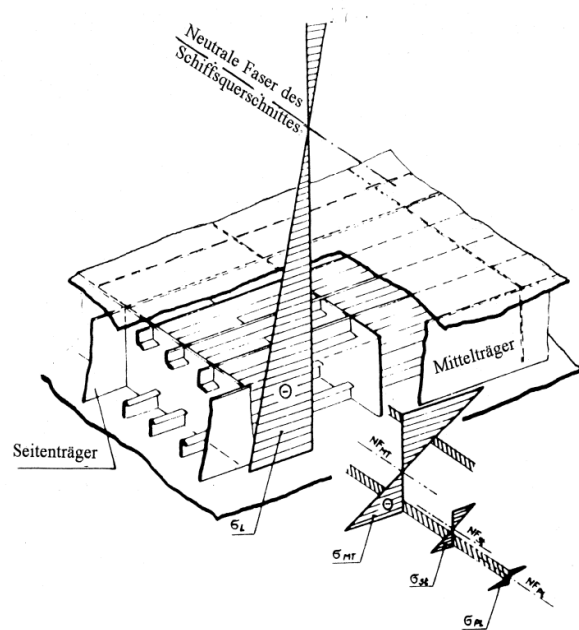


Abbildung 6: Überlagerung globaler und lokaler Spannungen im Doppelboden (hier Schiff auf Wellenberg)

Nach Regeln des GL (2008) darf die bei Schiffen mit einer Länge von über 90 m nicht geringer sein als der größere der beiden folgenden Werte:

$$t_{B1} = 18,3 \cdot n_f \cdot a \sqrt{\frac{p_B}{\sigma_{pl}} + t_k} \quad (1)$$

$$t_{B2} = 1,21 \cdot a \sqrt{p_B \cdot k + t_K} \quad (2)$$



Während in der ersten Formel Belastungen durch globale und lokale Erscheinungen berücksichtigt werden und von der Spantenbauweise abhängt, sind in Formel zwei nur Beanspruchungen aus den lokalen Lasten beinhaltet, welche von dem implementierten Werkstoff abhängig ist.

Dabei sind:

$p_B$  = Bodenbelastung durch hydrostatischen Druck [kN/m<sup>2</sup>]

$a$  = Spantabstand [m]

$n_f$  = 1,0 bei Querspantenbauweise  
= 0,83 bei Längsspantenbauweise

$\sigma_{pl}$  = resultierende Plattenspannung [N/mm<sup>2</sup>]  $\sigma_{pl} = \sqrt{\sigma_{perm}^2 - 3\tau_L^2} - 0,89\sigma_{LB}$

$\sigma_{perm}$  = zulässige Entwurfsspannung [N/mm<sup>2</sup>]  $\sigma_{perm} = \frac{230}{k}$  für  $L > 90$  m

$\sigma_{LB}$  = größte Entwurfslängsbiegung im Boden [N/mm<sup>2</sup>]

$\tau_L$  = größte Entwurfsschubspannung infolge der Längsbiegung [N/mm<sup>2</sup>]

$k$  = Werkstoffkennziffer  $k = \frac{295}{R_{eH} + 60}$  für  $R_{eH} < 390$  N/mm<sup>2</sup>

$t_B$  = Stärke der Bodenbeplattung [mm]

$t_K$  = Korrosionszuschlag [mm]

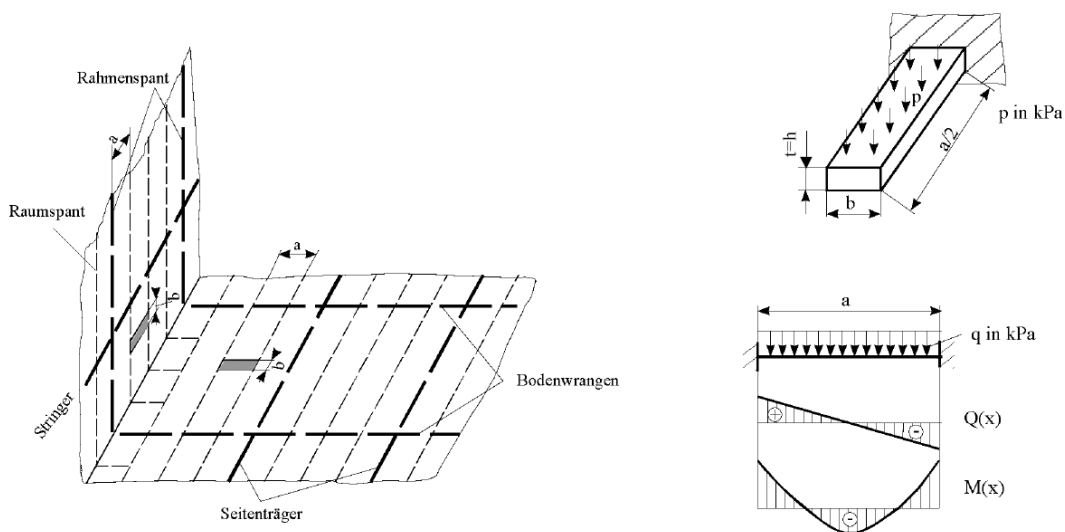


Abbildung 7: Theoretisches Modell zur Dimensionierung der Boden- und Seitenbeplattung

Wie in Abbildung 7 zusehen ist, wird angenommen, dass der Plattenstreifen an den Versteifungselementen fest eingespannt ist. Daraus folgt:

$$M(x) = \frac{q \cdot l^2}{2} \left( 1 - 6 \frac{x}{l} + 6 \frac{x^2}{l^2} \right) \quad (3)$$

$$M(0) = \frac{q \cdot l^2}{12} \quad (3.a)$$

$$M(x=l/2) = \frac{-q \cdot l^2}{24} \quad (3.b)$$

Im allgemeinen kann man schreiben:

$$M = k_{\text{einsp}} \cdot ql^2 \quad (4)$$

Das Widerstandsmoment des Streifens ergibt sich aus:

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{bt^2}{6} = \frac{l \cdot t^2}{6} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{\text{zul}} \quad \frac{M}{W} \leq \frac{\sigma_{\text{SHF}}}{\nu} \quad (6)$$

Nimmt man an, die Breite „1“ und q proportional p, folgt nach Einsetzen:

$$k_{\text{einsp}} \cdot \frac{pl^2}{t^2} \cdot 6 \cdot \nu = \sigma_{\text{SHF}} \quad (7)$$

Damit wird für a=1:

$$t = \sqrt{k_{\text{einsp}} \cdot 6 \cdot \nu \cdot a \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\text{SHF}}}}}, \quad \text{da } \eta = \frac{\sigma_{\text{S240}}}{\sigma_{\text{SHF}}} \quad (8)$$

$$t = \sqrt{\frac{k_{\text{einsp}} \cdot 6 \cdot \nu}{\sigma_{\text{S240}}} \cdot a \cdot \sqrt{p \cdot \eta}} \quad (9)$$

$$n = \sqrt{\frac{k_{\text{einsp}} \cdot 6 \cdot \gamma}{\sigma_{\text{S240}}}} \quad \text{und } \eta = k \quad - \text{Werkstoffkennziffer} \quad (10)$$

Und letztlich folgt die Dicke der Beplattung:

$$t = n \cdot a \cdot \sqrt{k \cdot p} \quad (11)$$

Der in Formel (11) gegenüber der Klassevorschrift Formel (1) fehlende Faktor  $n_f$  ergibt sich aus den Eigenschaften der Plattenbeulung bei Stabilitätsversagen, welches für Längs- und Querspannenbauweise unterschiedlich ist. Desweiteren berücksichtigt  $t_k$  die vorhandene Korrosion.

## 4 Anwendungsfelder

### 4.1 Rückblick

Bereits erfolgreich demonstriert wurde die Anwendung (Abbildung 8) von evolutionären Algorithmen zur Optimierung der Schiffsmasse unter Einhaltung der Spannungsrestriktionen für die Lastfälle Sagging und Hogging (Riedel 2004). Dabei wurde eine Einsparung des Stahlvolumen von mehr als zehn Prozent erzielt, allerdings an einer vereinfachten Struktur und unter Vernachlässigung der Beulstabilität oder auch der Betriebsfestigkeit.

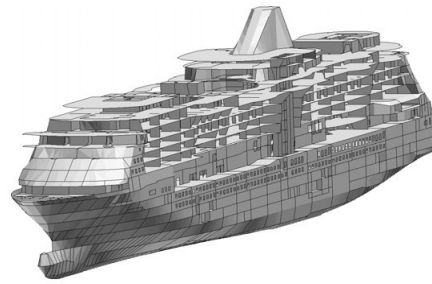


Abbildung 8: Rechenmodell eines Schiffes zur Optimierung der Plattenstärke (Riedel 2003).

Auch der Entwurf von Propellern ließ sich unter einer Vielzahl von teils widersprüchlichen Randbedingungen nicht nur optimieren, sondern auch von Grund auf entwerfen. Dabei wurde sowohl ein guter Wirkungsgrad als auch die Induzierung von Druckimpulsen auf das Schiff und die Verhinderung von Kavitation mit berücksichtigt (Hundmer et al 2006).

Im Bereich der Hydrodynamik des Rumpfes sind numerische Optimierungsalgorithmen entwickelt worden um unter Beachtung von diversen Randbedingungen einen möglichst geringen Widerstand der Schiffsförm für einen effizienten Betrieb zu erreichen (Harries et al 2006).

Es wurde auch die Interaktion der einzelnen Entwurfsstadien von Krüger (1998) gezeigt. Um den Anforderungen an einen geringen Widerstand und hoher Stabilität gerecht zu werden, wurde angestrebt die Doppelbodenhöhe (Basic Design) bei maximalem Bilgenradius (Initial Design) zu minimieren. Das Problem an dieser Stelle ist eine adäquate Struktur (Detail Design) zu entwickeln, ohne dass die entstandenen Vorteile zu Lasten der Fertigungs- oder Materialkosten gehen. Hierbei können je nach Anforderung an eine der drei Kriterien (Hydrodynamik, Hydrostatik, Stahlstruktur) unterschiedliche Varianten entstehen.

Außerdem gezeigt wurde, dass durch die Interaktion im Entwurf von Raum-, Stau- und Antriebskomponenten eine iterative Optimierung möglich ist (siehe Abbildung 9), wobei der Entwurf stark an die Transportaufgabe angepasst wurde. Eine Modifizierung von Auftriebs-, Schiffsmasse- und Ladungsverteilung resultierte in eine Verringerung der Strukturbelastung und damit in eine geringe Masse des Leerschiffes (Haase 2007).

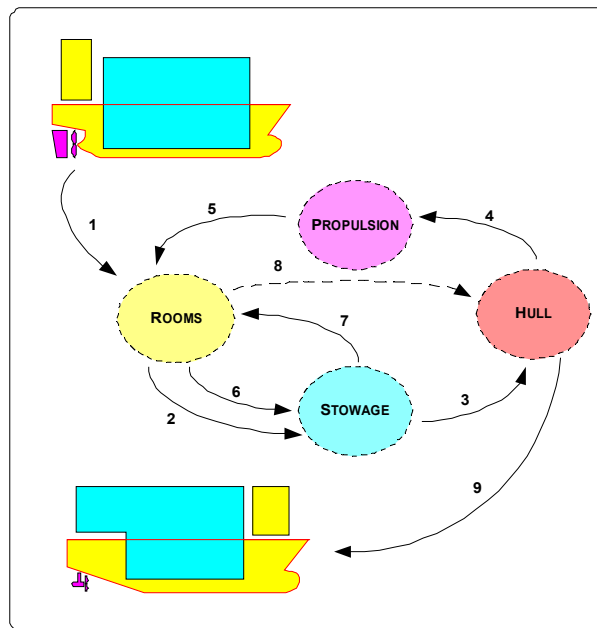


Abbildung 9: Entwurfsspirale zur Optimierung des Biegemomentes (Haase 2007).

## 4.2 Ausblick

Obwohl die Kosten eines Schiffes zu ca. 60% durch das verbaute Material entstehen (Krüger 1998), kann nur durch eine Minimierung der Stahlmasse nicht der Schiffspreis minimiert werden. Da bei der Schiffsfertigung hauptsächlich ebene und gekrümmte Platten mit einander und mit Versteifungen gefügt werden, sind bei einer Masseoptimierung auch die Kosten der Fertigung mit zu berücksichtigen. Wie bereits dargestellt, kann die Plattenstärke durch eine Verringerung des Spantabstandes verringert werden, aber dabei sind Stabilitätskriterien gegen Beulung in globaler Längsrichtung und entsprechende Korrosionszuschläge zu beachten (Pentschew 1998).

Speziell bei Passagierschiffen ist eine Massereduzierung der Aufbauten aus Gesichtspunkten der hydrostatischen Stabilität vorteilhaft, um unter Umständen auf die Verwendung teurer Materialien wie Aluminium verzichten zu können.

Weiterhin müssen dynamische Effekte von einzelnen Verbänden und Bauteilgruppen bezüglich Resonanzerscheinungen beachtet werden. Schwingungen einzelner Bauteilgruppen, induziert von der Antriebsanlage und des Propulsors, können zu einer starken Geräusentwicklung führen. Auch das globale Schwingen des Schiffskörper durch Springing und Whipping kann die Betriebsfestigkeit der Schiffstruktur beeinflussen (Pohl 2007). Diese Effekte ließen sich mit Hilfe numerischer Algorithmen nach Schwingungsaspekten optimieren, um entsprechende Resonanzfrequenzen zu vermeiden. Gleiche Forderung wird auch beim Propellerentwurf als relevant betitelt (Hundmer et al 2006).

Die große interkontinentale Konkurrenz im Schiffbau lässt sich durch die Angebote aus Fern-Ost und Europa zusammenfassen. Während asiatische Schiffsneu-

bauten vor allem durch einen geringen Preis überzeugen, können die europäischen Anbieter mit hohen Technologiestandards auftrumpfen. Um diesen Vorteil weiter für sich behaupten zu können, ist es essentiell die Effizienz von Schiffen und deren Entwurfsprozess weiter zu steigern. Ein, vordergründig schiffstheoretisch, numerisches Optimierungstool kann zwar den Entwurf verbessern, spart aber lt. Hollenbach und Klug (2008) weder einen erfahrenen Ingenieur, noch beschleunigt es den Entwurfsprozess; es benötigt mehr Zeit und ist kostenintensiver. Numerische Optimierungsverfahren sollten daher für Auftraggeber von Passagierschiffen, RoRo-Fähren und nachrangig auch Frachtschiffen entwickelt werden, womit eine kostendeckende Integration eines Algorithmus zur Topologieverbesserung in den Konstruktionsprozess mit als Randbedingung einfließt.

## 5 Integrationsbeispiel

Am Beispiel eines Rahmenspantes im Seitenverband und der Bodenwrange im Bodenverband soll das Anwendungspotential von numerischen Verfahren erläutert werden. Diese dienen der Übertragung von Querkräften und Schubspannungen zwischen den angrenzenden Plattenbauteilen. Wie in Abbildung 10 zu sehen ist, werden so genannte Mann- oder Erleichterungslöcher in dem Rahmenspant und der Bodenwrange vorgesehen um einerseits die Zugänglichkeit für Fertigungs- und Wartungszwecke zu gewährleisten, aber auch um das Gewicht der Konstruktion zu verringern. Besondere Vorschriften zum Beispiel nach Vorschriften des GL gibt es nicht (Pentschew 1998), aber es sind Versteifungen vorzusehen, falls es erforderlich ist (GL 2008). Diese Aussage macht eine erfahrungsbaasierende Vorgehensweise deutlich.

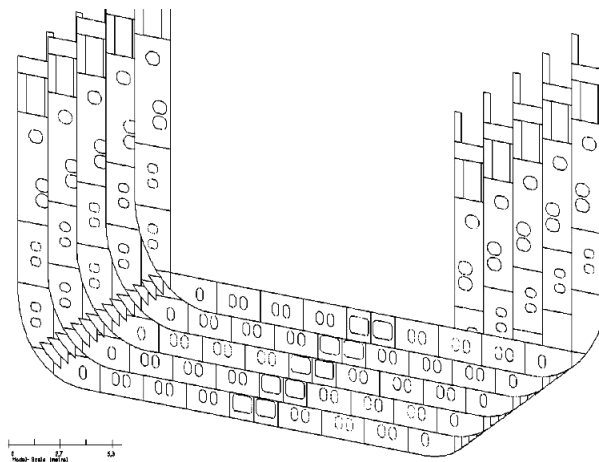


Abbildung 10: Querbauteile (Bodenwrangen und Rahmenspanten mit Erleichterungslöchern) im Hauptspantbereich.

Darum bieten die Bodenwrangen und Rahmenspanten ein großes Potential für numerische Verfahren, um unter Spannungs-, Fertigungs- und Zugangsrestriktionen für verschiedene Ladefälle, die Topologie und damit die Masse und Fertigungskosten zu optimieren. Dies lässt sich für alle Bauteile in denen Erleichterungslöcher vorzusehen sind generalisieren. Das sind insbesondere: Längsträger und

Stringer in Seitenverbänden und Bodenkonstruktionen, horizontale Stringer und vertikale Versteifungen in Querschottkonstruktionen, sowie Rahmenspannten in der Heck- und Bugkonstruktion.

Ergebnisse einer etwaigen Optimierung liegen vor und sind in Abbildung 11 inklusive des Flowcharts für den Bereich der Bodenwrange dargestellt.

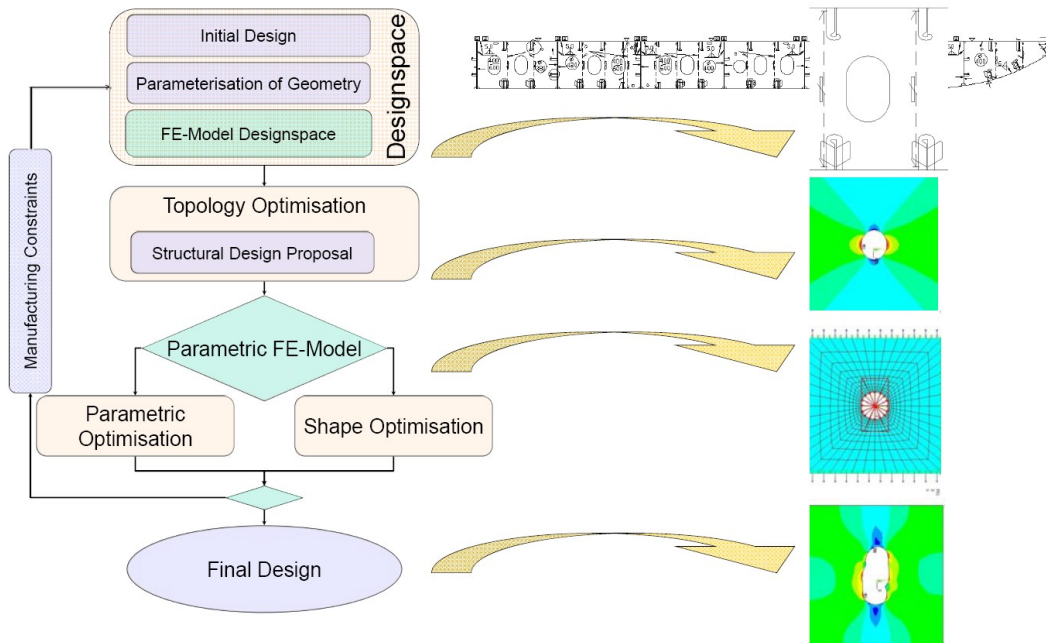


Abbildung 11: Flowchart zur Gewichtsoptimierung einer Bodenwrange

## 6 Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass numerische Optimierungsverfahren in den einzelnen Designphasen (und auch phasenübergreifend) erfolgreich im Schiffbau eingesetzt werden um die Effizienz in der Produktion und auch im späteren Betrieb effektiver zu gestalten. Weiterhin wurden Bereiche, vor allem bei dem Entwurf der Stahlstruktur aufgezeigt, welche sich noch weiter optimieren lassen, wobei eine Vielzahl von schiffbauspezifischen Restriktionsparameter (siehe Abbildung 10), die bei jedem Schiff unterschiedlich sind, zu beachtet werden müssen. Bis auf den Materialpreis sind alle Parameter vom Schiffstyp, der Klassifikationsgesellschaft und der gewählten Werft abhängig. Der Materialpreis ist vorallem in zeitlicher Abhängigkeit zu betrachten (siehe Abbildung 9). Unter Berücksichtigung der Individualität eines jeden Schiffsentwurfes gilt es, allgemein gültige Verfahren für die Optimierung von Stahlstrukturen im Schiffbau zu entwickeln, um die Leistungsfähigkeit moderner CAD-Systeme und damit auch die der Schiffe weiter zu steigern. Weiterhin soll es das Ziel im schiffbaulichen Entwurfsprozess sein, phasenübergreifende Optimierungsverfahren zu integrieren. So kann z B bei Kenntnis der verfügbaren Plattendicken und Kennwerten der Versteifungsprofile ein optimaler Spantabstand gefunden werden, welcher sich auf die globalen Schiffsab-

messungen auswirken würde. Inwieweit sich das positiv in den Schiffsentwurf integrieren lässt, werden Studien in der Zukunft zeigen.

Da viele Lastannahmen auf empirischen Formeln beruhen, ist für die Optimierung des Schiffentwurfes genauso eine genaue Belastungsvorhersage von Bedeutung.

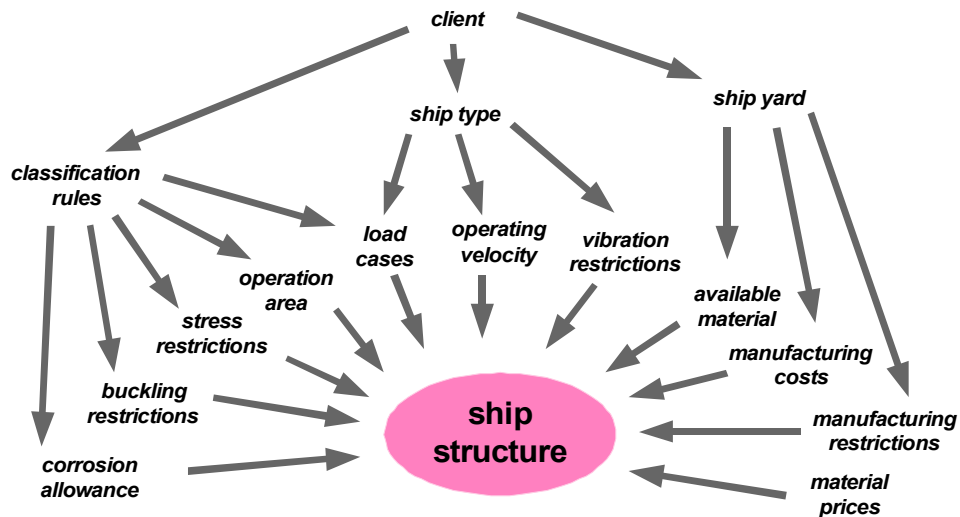


Abbildung 12: Einflussfaktoren zur Entwurfsoptimierung der Schiffsstruktur.

## Literatur

Klassifikationsvorschriften des Germanischen Lloyd, Kapitel I-1-1 Abschnitt 5, Abschnitt 8, 2008

P. Pentschew: „Schiffskörperkonstruktion“, Vorlesungsmanskript, Universität Rostock, 1998

D. Gimperlein und K. Bruckmann: „Anpassung gewachsener Konstruktionsprozesse an moderne CAD-Systeme – oder umgekehrt?“, STG Jahrbuch Band 98, S. 239-244, 2002

J. Riedel: „Gewichtsoptimierung eines Kreuzfahrtschiffes unter Spannungsrestriktionen“, <http://www.dynardo.de/website.php?id=/index/projekte/schiff.htm>

U. Hollenbach und H. Klug: „Optimizing Hull Forms for Design and >>Off-Design<< -Conditions“, HANSA Nr. 10, S. 34-39, 2008

J. Hundemer, B. Naujoks, T. Hachmann und M. Abdel-Maksoud: „Auslegung von Schiffspropellern mit evolutionären Algorithmen“, STG Jahrbuch Band 100, S. 250, 2006

S. Krüger: „Einfluß moderner Entwurfsmethoden auf die Produktentwicklung einer Werft“, STG Jahrbuch Band 92, S. 138, 1998

W. Fricke: „Grundlagen der Schiffskörperkonstruktion“, Vorlesungsskript, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2006

M. Haase: „Analyse innovativer Schiffskomponenten in Bezug auf Interaktion von Raum-, Stau- und Antriebskonzept“, Studienarbeit, Universität Rostock, 2007

S. Harries, C. Abt, J. Heimann and K. Hochkirch: „Advanced hydrodynamic design of container carriers for improved transport efficiency“, Design & Operation of Container Ships, London, UK, 2006

R. Pohl: „Whipping-Beanspruchung bei der Schiffskörperdimensionierung“, Kolloquium Schiffstechnik, Universität Rostock, 2007