



Schiffstechnik und Schiffbautechnologie

2. überarbeitete und erweiterte Auflage

Herausgegeben vom
Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V.

Bearbeitet von
Claus F. Mayer und Ralf S. Marquardt

Seehafen Verlag

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; Detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

2. überarbeitete und erweiterte Auflage 2006, ISBN 10: 3-87743-817-2
ISBN 13: 978-3-87743-817-6

© Copyright 2006, Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V., Hamburg

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung vom Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V., Hamburg. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Anfragen und Anregungen an den Herausgeber:
Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V.
Steinhöft 11, 20459 Hamburg
E-Mail: info@vsm.de; Internet: www.vsm.de

Verlag: Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH | Seehafen Verlag
Nordkanalstraße 36, 20097 Hamburg
E-Mail: info@seehafen-verlag.de; Internet: www.seehafen-verlag.de
Grafische Gestaltung: Karl-Heinz Westerholt, Markus Stühmke
Herstellung: TZ-Verlag & Print GmbH
Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

A Schiffstheorie und Entwurf

A 1	Schiffsgröße und Darstellung der Schiffsform Schiffsgröße · Zeichnerische Darstellung der Schiffsform (Linienriss) · Verhältniswerte und Völligkeitsgrade	2
A 2	Schwimmfähigkeit und Stabilität Schwimmfähigkeit · Stabilität · Begriffe · Querstabilität bei kleinen und großen Krängungswinkeln · Wassereinbruch und Stabilität im Schadensfall . .	5
A 3	Schiffswiderstand und Vortrieb Antriebsleistungsbedarf · Schiffswiderstand · Propulsion · Leistungsbestimmung aus Modellversuchen · Kavitation	10
A 4	Schiffsbewegungen und Seeverhalten Freiheitsgrade · Kentern · Resonanz · Belastung der Schiffsstruktur	14
A 5	Festigkeit des Schiffskörpers Beanspruchung des Schiffskörpers · Allgemeine Grundlagen der Festigkeit · Der Rumpf als Kastenträger · Dimensionierung des Schiffsrumpfes	16
A 6	Der Schiffsentwurf Allgemeines · Wirtschaftlichkeitsstudien und Rahmenbedingungen · Bestimmung der Hauptabmessungen · Weiterentwicklung des Entwurfes · Fertigungsgerechter Entwurf · Einsatz der Informationstechnik im Schiffsentwurf	23
Anhang	A 1 Vorschriften für den Schiffbau	26
Anhang	A 2 Schiffstypen	31

B Das System „Schiff“

B 1	Der Schiffskörper mit Ausrüstung und Einrichtung	38
B 1.1	Rumpf Allgemeines · Kiel · Schiffsboden · Außenhaut und Seitenverbände · Bug und Heck · Decks · Schotte	38
B 1.2	Aufbauten, Deckshäuser und Schornstein	47
B 1.3	Nicht integrierte Fundamente	48
B 1.4	Ausrüstung Verschlüsse · Fenster, Oberlichter · Treppen, Leitern · Schanzkleider, Relinge, Sonnensegel · Masten, Ladegeschirr, Deckskräne · Kennzeichnungen und Beschilderungen · Wärme- und Schallisierungen, Wegerungen · Decksausrüstung · Rettungsausrüstung und Schiffssicherungssysteme · Sonderausrüstung, RoRo	48
B 1.5	Besatzungs- und Betriebsräume	54
B 1.6	Materialschutz und Decksbeläge	55
B 2	Antriebsanlagen	57
B 2.1	Leistungserzeuger Viertakt-Diesel (Mittelschnellläufer) · Zweitakt-Kreuzkopfdiesel · Gasturbinen · Elektroantrieb · Stromerzeuger	57
B 2.2	Leistungsübertragungs- und Vortriebsanlagen Wellen, Getriebe, Kupplungen · Festpropeller · Mantelpropeller · Verstellpropeller · Wasserstrahlantrieb · Querstrahlanlagen · Azimutanlagen	60

B 2.3	Hilfssysteme der Antriebsanlagen Treibstoffsystem · Schmierölsystem · Kühlwassersystem · Abgassystem · Druckluftsystem · Schlamm- und Schmutzölsystem.	64
Exkurs	Pumpen und Armaturen	65
B 3	Schiffsbetriebsanlagen Ruderanlage · Stabilisierung und Krängungsausgleich · Lenz- und Ballastsystem · Feuerlöschsystem · Frisch- und Abwassersystem · Kühl- und Heizsystem · Spezielle Anlagen für Tankschiffe · Klimatisierung und Lüftung	70
B 4	Elektrische Anlagen Elektrische Ausrüstung im Allgemeinen · Kommunikationsanlagen · Navigation und Schiffsführungsanlagen · Automationsanlagen	77
C	Schiffbautechnologie	
C 1	Aufbau moderner Werften Allgemeines · Materialfluss · Planung und Steuerung der Fertigung	82
C 2	Schiffbautechnologie im Einzelnen	86
C 2.1	Schiffbaumaterial Stahl · Aluminiumlegierungen	86
C 2.2	Von der Zeichnung bis zum Zuschnitt	89
C 2.3	Trennverfahren Thermische Trennverfahren · Mechanische Trennverfahren	90
C 2.4	Umformverfahren Plattenumformung · Profilumformung · Rohrbiegen	95
C 2.5	Montageverfahren Sektionsbauweise · Fertigungsfolge · Sektionsteilung · Genauigkeit der Fertigung · Anzeichnen · Positionieren und Ausrichten · Kompensation von Thermodeformationen · Montagehilfsmittel · Abweichungen vom Sollmaß · Gerüste, fahrbare Arbeitsbühnen · Vorausrüstung	97
Exkurs	3 D – Messgeräte	103
C 2.6	Fügen von Bauteilen Thermisches Fügen (Schweißen) · Kleben	107
Exkurs	Einsatz von Robotern	113
C 2.7	Richten	114
C 2.8	Hebe- und Transporteinrichtungen	115
C 2.9	Bauplatz	116
C 3	Reparatur- und Umbauarbeiten	120
C 4	Arbeitssicherheit und Umweltschutz	122
	Stichwortverzeichnis	125
	Begriffe und Abkürzungen (Deutsch-Englisch)	129

Einleitende Bemerkungen zur ersten Auflage

Da es zur Zeit keine neueren Fachbücher gibt, die sich speziell an Auszubildende im Schiffbau richten, hat sich eine Arbeitsgruppe von Ausbildungsleitern und Berufsschullehrern darum bemüht, den entsprechenden Wissensstoff zusammenzutragen und für die Berufsausbildung aufzubereiten. Darüber hinaus waren Fachleute, die im Schiffbau tätig oder ihm verbunden sind, mit Beiträgen oder Stellungnahmen bei der Entstehung des Manuskriptes behilflich.

Ohne Einzelne hervorzuheben, möchten wir sehr danken Frau Veronika Sextro und den Herren: Hans-Georg Allmendinger, Manfred Bock, Benedict Boesche, Prof. Manfred Beyer, Wolfgang Bühr, Peter Coordes, Stefan Derwein, Helmut Diekmann, Maximilian Heinemann, Bernd Hilse, Dr. Dieter Hinneberg, Alfred Istel, Dirks Kreutzmann, Dr. Stefan Krüger, Heinrich Lendt, Hinrich Lengen, August Nitschmann, Prof. Dr. H. Petershagen, Prof. Dr. Harald Poehls, Hans-Gunter Portmann, Ewald Punkenburg, Dr. Frank Roland, Gerke Swyter, Hellmut Wilckens.

Die Broschüre befaßt sich nicht mit den Fachkenntnissen, die für alle Metallbauer und Konstruktionsmechaniker vorausgesetzt werden. Insofern darf auf die einschlägige Literatur, z.B. „Fachkenntnisse Metallbauer und Konstruktionsmechaniker“ (Verlag Handwerk und Technik, Hamburg) verwiesen werden. Sie baut vielmehr auf dieser vorhandenen Literatur ergänzend auf, um den Auszubildenden und Interessierten zusätzliche Kenntnisse über Schiffe und Werften zu vermitteln und Zusammenhänge aufzuzeigen, die in der vorhandenen Literatur nicht oder nur verstreut behandelt werden.

Auf die Behandlung der Geschichte des Schiffbaus haben wir aus Raumgründen verzichten müssen, obwohl dies ein sehr interessantes Thema gewesen wäre. Wir verweisen insoweit als ersten Einstieg auf „Jobst Broelmann, Schiffbau, Beiträge zur Technikgeschichte für die Aus- und Weiterbildung“ (Verlag Deutsches Museum, München).

Aus dem gleichen Grunde wurden die im Schiffbau verwendeten traditionellen Rechen- und Abwicklungsverfahren nicht dargestellt.

Claus F. Mayer

Vorwort zur zweiten Auflage

Das Fachbuch Schiffstechnik und Schiffbautechnik erfreut sich seit seiner Erstausgabe zunehmender Beliebtheit. Das bisher einmal unverändert neu aufgelegte Buch wird seit 1998 nicht nur von Werften und Berufsschulen für die gewerbliche Ausbildung genutzt, sondern dient auch Berufseinsteigern und Studienanfängern als erste Orientierungshilfe.

Um den Erfolg dieses Werkes weiterhin sicherzustellen, hat der Verband für Schiffbau und Meerestechnik nunmehr eine überarbeitete und erweiterte Neuauflage vorgelegt. Erfreulicherweise konnten hierfür erneut zahlreiche Fachleute aus Berufsschulen, Hochschulen und Schiffbauunternehmen gewonnen werden. Ohne diese Mitarbeit wäre die Durchführung dieses Revisionsprojektes nicht möglich gewesen. Ohne Einzelne hervorzuheben, möchten wir uns herzlich bedanken bei:

Heike Billerbeck, Manfred Bock, Benedict Boesche, Peter Coordes, Prof. Dr. Wolfgang Fricke, Dr. Alexander Geisler, Uwe Grever, Prof. Dr. Wilfried Hensel, Bernd Hilse, Prof. Dr. Gerhard Jensen, Herrmann Kaps, Danai Kobs, Dirks Kreutzmann, Jochen Künzel, Prof. Dr. Stefan Krüger, Heinrich Lendt, Dr. Mathias Münchau, Dr. Frank Roland, Kurt Scholz, Dr. Carsten Schumann, Veronika Sextro, Silke Siegel und Gerke Swyter.

Diese Neuauflage umfasst neben Aktualisierungen und Anpassungen an den Stand der Technik nunmehr ein zweisprachiges Verzeichnis von Begriffen und Abkürzungen, um der steigenden Bedeutung der englischen Sprache auch in der gewerblichen Ausbildung Rechnung zu tragen. Die Vorstellung der wichtigsten Schiffstypen in Anhang A 2 wurde um Bildmaterial deutscher Werften erweitert.

Ralf S. Marquardt

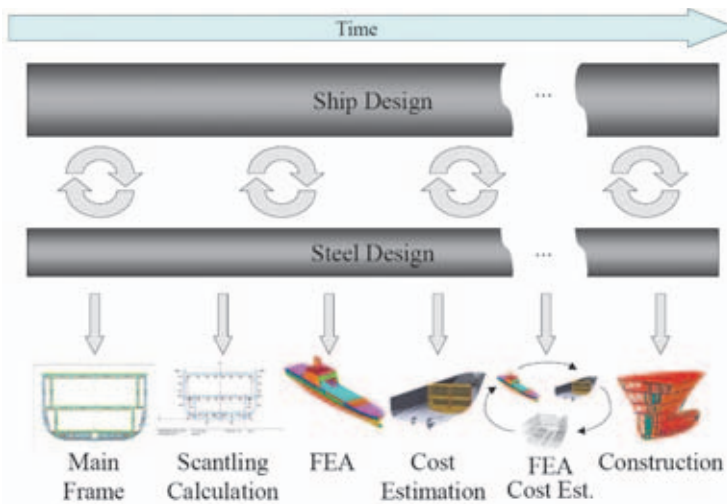


Bild A 5.4-2: Ablaufplan zum Stahlentwurf

Schiffsfestigkeitsberechnung mit FEM

Das leistungsfähigste Werkzeug zur Durchführung von Schiffsfestigkeitsberechnungen nicht nur für den Schiffsrumpf, sondern auch für örtliche Beanspruchungen, ist die Methode der Finiten Elemente (FE). Hierbei wird die zu untersuchende Struktur in viele gedachte Einzelteile (flächen- oder linienförmige Elemente) aufgeteilt. Es wird angenommen, dass diese Elemente nur über ihre Ecken oder Knoten miteinander verbunden sind. Verschiebungen an einem Knoten wirken sich über eine geeignete Verschiebungsfunktion auf alle anderen Knoten innerhalb eines Elementes aus. Aus den Verschiebungen können die Dehnungen und damit auch die Spannungen ermittelt werden.

Die Kräfte an den Knoten werden in Bezug gesetzt zu den Kräften an den äußeren Grenzen der zu untersuchenden Strukturen. Ausmaß der Verschiebungen muss gewissen Verträglichkeitsregeln genügen. Schließlich muss die Gesamtheit der aufgebrachten äußeren und inneren Kräfte bestimmte Gleichgewichtsbedingungen erfüllen. Das Verfahren erfordert die gleichzeitige Lösung einer großen Zahl von Gleichungen, die in Matrix-Form dargestellt sind, mit Hilfe eines Computers. Das Finite-Elemente-Verfahren ist inzwischen ein anerkanntes Werkzeug für Schiffsfestigkeitsberechnungen. Es ist besonders wertvoll, wenn die Formen der Struktur kompliziert sind oder größere Ungleichmäßigkeiten enthalten. Eine Finite-Elemente-Analyse beginnt normalerweise mit einem groben Netz, um die Längsfestigkeit anhand eines Globalmodelles zu ermitteln.

Die Erstellung eines FE-Modelles erfordert große Sorgfalt, um eine wirksame Analyse durchzuführen und Fehlinterpretationen zu vermeiden, und ist eine langwierige Angelegenheit. Die für die Modellierung und die Berechnung zur Verfügung stehende Software und die Computer werden jedoch immer leistungsfähiger, so dass auch die Ergebnisse zunehmend schneller erreicht werden.

In vielen Fällen können einfachere Verfahren, wie die Anwendung der einfachen Balkentheorie, für den Anfangsentwurf besser geeignet sein. Der auf diese Weise erstellte Anfangsentwurf kann dann mit Hilfe der Finite-Elemente-Analyse überprüft werden. Kritische Bereiche der Struktur, die besonders hohen örtlichen Belastungen ausgesetzt sind, können einer mehr ins Einzelne gehenden Untersuchung unterworfen werden. Die FE-Analyse kann auch vorteilhaft für die Gestaltung und Bemessung von Einzelteilen wie Lukenecken oder Maschinenfundamente eingesetzt werden.

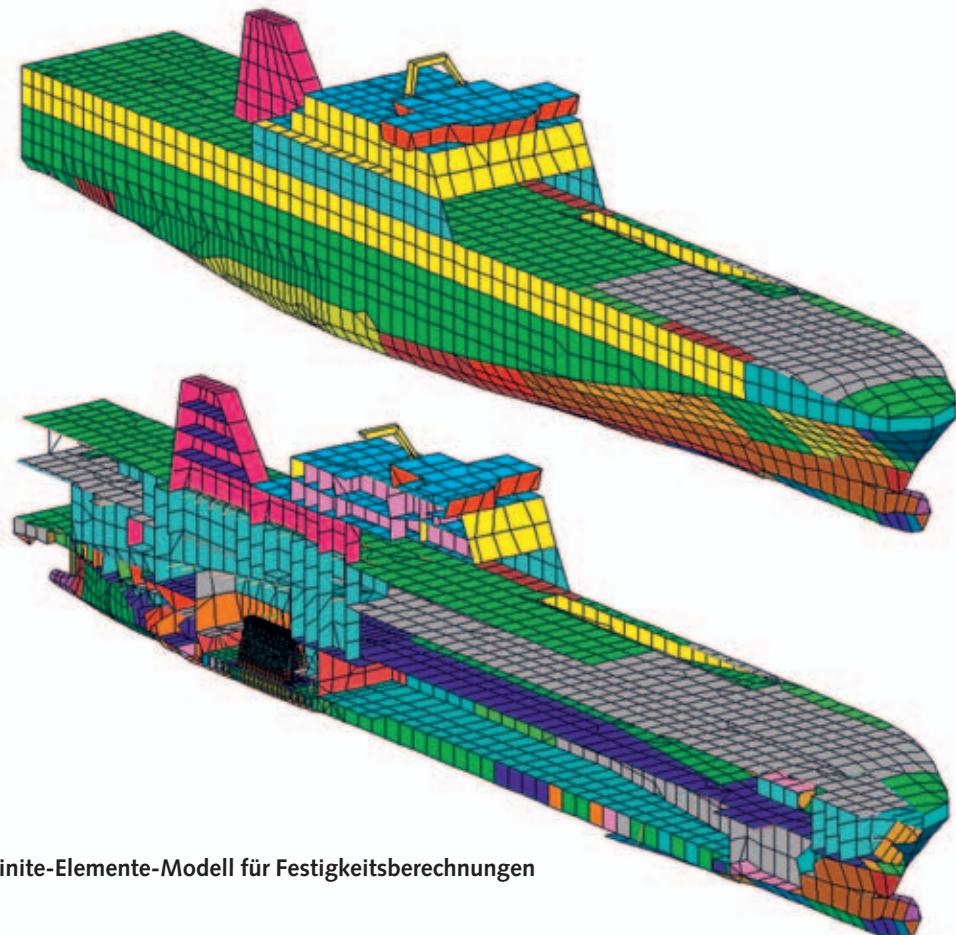


Bild A 5.4-3: Finite-Elemente-Modell für Festigkeitsberechnungen

A 6 Schiffsentwurf

A 6.1 Allgemeines

Schiffsentwurf ist das Verfahren, die wesentlichen Eigenschaften eines Schiffes so weit im Einzelnen festzulegen und zu entwickeln, dass man es bauen kann, und dabei sicherzustellen, dass die geforderten Leistungsdaten und Kostenziele eingehalten werden.

Es handelt sich um eine integrierende Planung, in deren Verlauf bei allen Entscheidungen eine große Zahl von Randbedingungen zu beachten ist.

„Schiffbau ist eine Kunst“, sagt man manchmal scherzhaft. Das ist natürlich nicht richtig. Der Schiffsentwurf ist ein rationaler Prozess und die Schiffsfertigung eine industrielle Technik. Gemeint ist etwas anderes: Der Entwurfsingenieur im Schiffbau muss häufig auf Erfahrungswissen zurückgreifen, er muss Entscheidungen zwischen verschiedenen Entwurfszielen treffen und Kompromisse schließen. Bei Optimierungen muss er von Erwartungen über zukünftige wirtschaftliche Entwicklungen ausgehen. Er muss viele Gesichtspunkte berücksichtigen. Seine Arbeit ist niemals eindimensional.

Schiffe gehören zu den kompliziertesten und teuersten technischen Systemen. Bei ihrem Entwurf kommen viele verschiedene Technikbereiche zur Anwendung. Deshalb ist die Gesamtintegration sehr anspruchsvoll. Die Schwierigkeit der Aufgabe wird im Vergleich zu Anlagen an Land noch dadurch erhöht, dass es Entwurfsbedingungen und Beschränkungen gibt, die nur beim Schiffsentwurf vorkommen. Hierzu gehören die Umweltgefahren der See und die Notwendigkeit, dass ein Schiff in dieser feindlichen Umwelt eventuell monatelang auf sich selbst gestellt seine Aufgabe erfüllen muss. Außerdem werden, abgesehen von seltenen Ausnahmefällen, wegen der hohen Kosten und kleinen Serien keine Prototypen gebaut. Schiffe müssen gleich funktionieren.

Der Schiffsentwurfsprozess wird häufig mit einer Spirale verglichen, die sich von den ersten Überlegungen bis zum fertigen vertragsreifen Entwurf bewegt. An diesem Vergleich ist richtig, dass der Prozess „vom Groben zum Feinen“ läuft, das heißt von der ersten groben Festlegung der Verdrängung in Richtung Ausarbeitung der Schiffsform, Raumaufteilung und Entwurf der Untersysteme. Typisch ist auch der iterative (schrittweise) Charakter des Prozesses. Mit fortschreitender Detaillierung des Entwurfes muss immer wieder geprüft werden, ob er noch die grundlegenden Anforderungen an Stabilität, Gewichtsverteilung, Kosten usw. erfüllt.

Die Spirale ist jedoch nur ein Bild, das den unzutreffenden Eindruck eines stetigen Prozesses vermittelt. Tatsächlich kommen – vor allem in der Konzeptphase – intuitive Sprünge vor und es gibt auch Lösungsvorschläge, die sich als nicht realisierbar erweisen. Größere Diskontinuitäten kann es bei der Festlegung der Schiffsabmessungen und der Schiffsform geben, wenn die Schiffsgröße so weit gewachsen ist, dass eine größere Antriebsanlage vorgesehen werden muss.

In der Konzeptphase (Vorentwurf) werden in einem sehr engen Zeitraum Entscheidungen getroffen, die einen Großteil der Baukosten des Schiffes (oder der gesamten Serie von Schwesterschiffen) festlegen (vgl. Bild A 6.1-1). Daher sind schon im Vorentwurf stets die wirtschaftlichen Folgen für den gesamten Bauauftrag zu berücksichtigen.

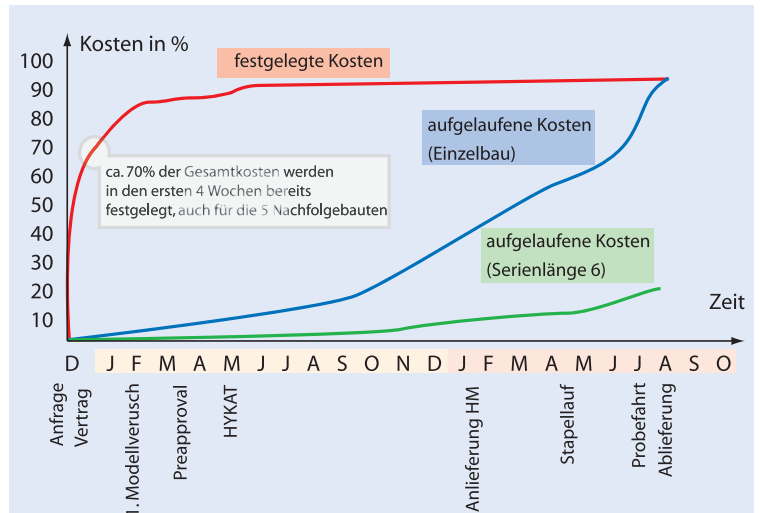


Bild A 6.1-1: Vergleich festgelegte und anfallende Kosten für eine Serie von sechs Schiffen

A 6.2 Wirtschaftlichkeitsstudien und Rahmenbedingungen

Der Ausgangspunkt jedes Projektes ist das Transportproblem des Reeders: Pro Jahr soll zum Beispiel auf einer bestimmten Route eine bestimmte Menge Ladung mit spezifischen Eigenschaften befördert werden. Naturgemäß hat die Ladungsart von vornherein den entscheidenden Einfluss auf den Schiffstyp.

Der Entwurf eines Handelsschiffes beginnt immer mit Wirtschaftlichkeitsüberlegungen, häufig nachdem der Reeder eine Marktstudie durchgeführt hat. Es werden Investitionsrechnungen für verschiedene Konzepte angestellt, um herauszufinden, welches von ihnen wirtschaftlich am vorteilhaftesten ist. Hierfür gibt es verschiedene Verfahren, wie die Errechnung des Nettobarwertes der Investition oder die Ermittlung der benötigten Frachtrate.

Zur Errechnung des Nettobarwertes schätzt man die zukünftigen jährlichen Nettoerträge des Schiffes und zinst diese auf den Zeitpunkt der Investition ab. Hiervon werden dann die Investitionskosten abgezogen. Die Differenz ist der Nettobarwert der Investition. Das beste Schiffskonzept ist das mit dem höchsten Nettobarwert.

Für die Ermittlung der benötigten Frachtrate werden die gesamten Jahreskosten des Schiffes kalkuliert. Dieser Betrag wird der Transportleistung gegenübergestellt. Hieraus ergibt sich die Frachtrate, die der Reeder einem Kunden in Rechnung stellen müsste. Das beste Schiffskonzept für einen bestimmten Fahrtbereich ist dann das, welches dem Reeder ermöglicht, die niedrigsten Raten anzubieten, die noch die Kosten decken.

Die Wirtschaftlichkeitsstudien entscheiden nicht nur darüber, ob der Reeder ein Schiff bestellt, sondern beeinflussen auch, welche Leistungsdaten das Schiff erhalten soll. Ein schnelleres Schiff wird beispielsweise eine höhere Transportleistung erbringen als ein langsames, aber auch einen höheren Treibstoffverbrauch und höhere Anschaffungskosten haben. Die unter den angenommenen Bedingungen (für Treibstoffkosten, Kapitalkosten usw.) theoretisch optimale Lösung (z.B. für die Dienstgeschwindigkeit eines Schiffes) kann man errechnen; häufig entscheiden aber auch die Anforderungen des Chartermarktes oder das „feeling“ des Reeders, welche Geschwindigkeit erreicht werden soll.

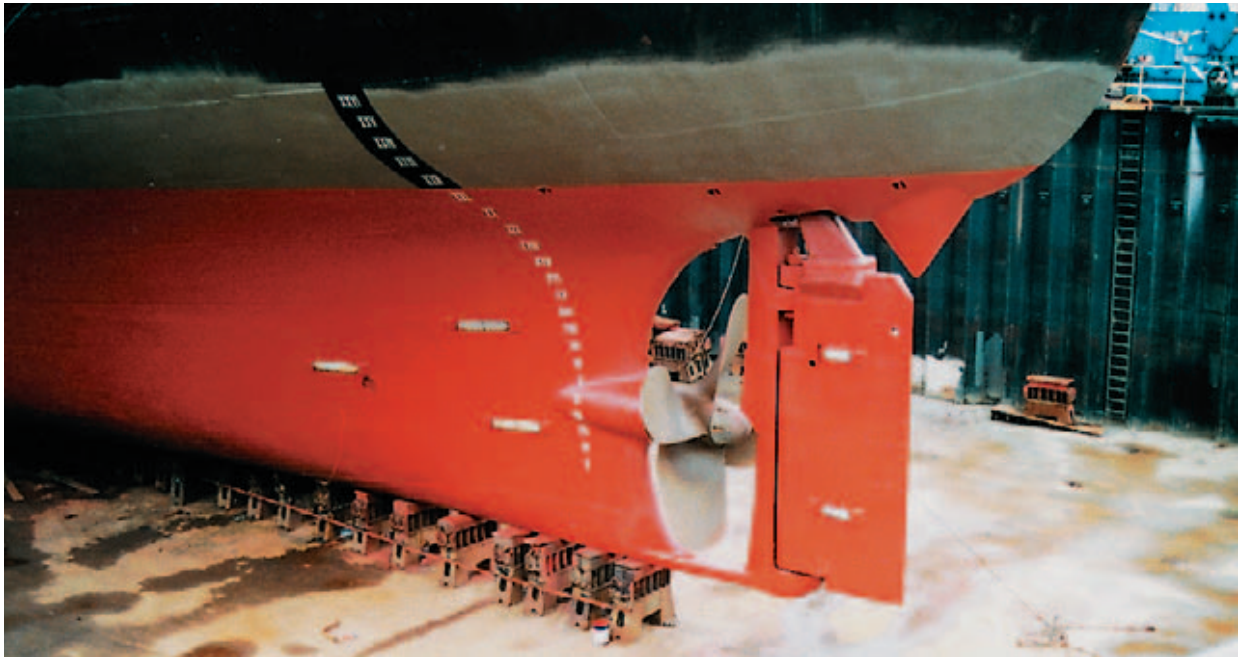


Bild B 1.6-1: Opferanoden

nach Typ und Dicke ein Neuanstrich in Zeiträumen von 1 bis 5 Jahren erforderlich ist. Daneben werden auch biozidfreie (= ungiftige) Alternativbeschichtungen auf Silikonbasis entwickelt, deren Oberfläche durch ihre Glätte den Bewuchs durch Seepocken und Muscheln verhindern.

Zur Erfüllung von optischen Forderungen wie Farbton und Glanz, von Beständigkeit gegen mechanische Einwirkungen, gegen Spritzwasser, Reinigungsmittel usw. werden auf Korrosionsschutz-Grundierungen Decklacke auf der Basis Chlorkautschuk, Acrylharz oder Polyurethan/Acrylharz eingesetzt.

Die Ballastwassertanks werden laut SOLAS-Anforderungen mit einer oder zwei Schichten einer 2-Komponenten-Epoxidharz-Beschichtung geschützt. Als zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahme können Opferanoden eingesetzt werden.

Die Beschichtungen in den Laderäumen eines Schiffes sind so verschieden wie die Ladungen selbst. Der Typ der Beschichtung muss mit der Belastung abgestimmt sein. In trockenen Innenräumen wie z. B. Maschinen-, Wohn-, und Wirtschaftsräumen, in denen eine geringe Korrosionsbelastung vorliegt, kommen konventionelle Beschichtungsstoffe auf der Basis Alkydharz zum Einsatz. Für diese Beschichtungen muss eine Zulassung der See-

Berufsgenossenschaft im Hinblick auf Schwerentflammbarkeit vorliegen.

In der Regel werden alle Beschichtungsstoffe durch das Airless-Spritzverfahren aufgebracht. Diese Methode macht die Verarbeitung von lösemittelarmen bzw. lösemittelfreien Produkten möglich. Das Ergebnis sind weniger, dafür aber dickere Einzelschichten. Die Applikation mit der Rolle bzw. mit dem Pinsel ist auf wenige Ausnahmen reduziert (z.B. freien Kanten).

Für den Korrosionsschutz liegen DIN EN ISO-Normen sowie VG-Normen und empfehlende Richtlinien der Schiffbautechnischen Gesellschaft vor.

Für die Ballastwassertanks aller Schiffstypen und Doppelhüllenräume auf Massengutschiffen werden durch die SOLAS-Konvention verbindliche Leistungsanforderungen der IMO gesetzt.

Decksbeläge

Decksbeläge werden in Bereichen eingesetzt, in denen eine bestimmte rutschhemmende Eigenschaft mit teilweise besonderer mechanischer Widerstandsfähigkeit gefordert wird. Sie dienen außerdem dem Korrosionsschutz und der Isolierung gegen Kälte und Schall. Die einzusetzenden Materialien sind sehr speziell und auf die jeweilige zu erfüllende Forderung zugeschnitten.



Bild C 2.6-7: Böckchenschweißen



Bild 2.6-8: Teilmechanisierte vertikale Stumpfstoßschweißung

Nahtgüte

Die Art der Schweißnaht wird vom Konstrukteur und/oder dem Schweißfachingenieur festgelegt. Die erforderliche Nahtgüte richtet sich nach folgenden Kriterien:

- Schiffstyp bzw. Bauweise,
- Beanspruchung (Art und Größe),
- Lage der Schweißung zur Hauptbeanspruchungsrichtung,
- Ausführungsformen der Bauteile und
- Materialdicke.

In der Norm EN 25817 „Lichtbogenschweißverbindungen an Stahl – Richtlinie für die Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten“ sind Bewertungsgruppen für noch zulässige Unregelmäßigkeiten gebildet worden. Im „Fertigungsstandard des Deutschen Schiffbaus“ (herausgegeben vom Verband für Schiffbau und Meerestechnik) wird die Tabelle der Unregelmäßigkeiten (Risse, Poren, Einschlüsse, Bindefehler, fehlerhafte Nahtformen usw.) in einer für den Schiffbau angepassten Form wiedergegeben. Der Fertigungsstandard listet in einer weiteren Tabelle auf, wie die Schweißnähte an Bauteilen eines Schiffes diesen Bewertungsgruppen zuzuordnen sind. Die Deckstringer-Scherang-Verbindung, die Schweißverbindungen im Bereich der oberen und unteren Gurtung und Stöße in und an überwiegend dynamisch beanspruchten Bauteilen werden beispielsweise danach der höchsten Bewertungsgruppe zugeordnet. Sie müssen also die höchste Nahtgüte besitzen, was sich aus der Bedeutung dieser Nähte für den gesamten Festigkeitsverband ergibt.

Geräte und Maschinen

Wie bereits oben ausgeführt wurde, befindet sich das Verfahren der **Handschweißung mit Stabelektroden** im Rückgang. Es wird vornehmlich noch zum Heften, für das Schweißen an unzugänglichen Stellen und im Ausrustungsbereich eingesetzt.

Als eine sehr einfache Mechanisierung des Stabelektrodenverfahrens kann man das sogenannte „**Böckchenschweißen**“ oder **Schwerkraftschweißen** betrachten. Dieses Verfahren wird zum Schweißen waagrecht liegender gerader Kehlnähte verwendet. Es ist keine Nachführensensoren erforderlich, die Elektroden brennen durch das eigene Gewicht belastet gleichmäßig in dem Winkel zwischen Platte und Profil ab.

Für die **Handschweißung mit Schutzgasverfahren** sind in den Werften zum Teil sehr zweckmäßige Schweißstationen entwickelt worden, bei denen die Zuführung von Schweißdraht, Schweißstrom, Schweißgas und die Absaugung der Schweißgase über einen Ausleger oder ein Portal von oben erfolgt. Der Schweißer kann sich die Geräte dann jeweils leicht an den Arbeitsplatz heranholen.

In dem Bemühen, die schwierige Arbeit des Schweißens so weit wie möglich zu mechanisieren, werden bereits seit vielen Jahren Führungsgeräte eingesetzt, die mit Schutzgasschweißverfahren arbeiten. Hierbei kann man zwischen beweglichen Maschinen, die an das Werkstück herangebracht werden, und fest installierten (stationären) Maschinen unterscheiden.

Bewegliche Führungsgeräte nennt man im Allgemeinen **Schweißtraktoren**. Sie werden zum Schweißen gerader Horizontal- oder Vertikalnähte eingesetzt.

Hierzu gehören die in der Vorfertigung eingesetzten Kehlnahtautomaten.

Die Bahnführung kann auch unter Zuhilfenahme einer Führungsschiene erfolgen. Ein Beispiel ist das Verschweißen von Außenhautnähten und -stößen. Hier wird vorteilhaft das Fülldraht-Schutzgasverfahren angewandt. Der Traktor wird an senkrechten oder waagerechten Schienen geführt, die neben der zu verschweißenden Naht angebracht worden sind. Die Schweißbadrückseite wird durch eine Keramikschiene gesichert. Der Schweißer beobachtet den Prozess und regelt gegebenenfalls manuell nach.

Stationäre Schweißmaschinen werden vor allem in mechanisierten Fertigungsstraßen (Paneelstraßen usw.) eingesetzt. Es handelt sich dabei im Allgemeinen um große Portale, an denen die eigentlichen Schweißköpfe beweglich angebracht sind.

Für das Zusammenschweißen der Einzelplatten zu Plattenplänen wird häufig das UP-Verfahren benutzt. Die Schweißstation ist mit Einrichtungen ausgerüstet, durch die die zu verschweißenden Bleche in einer Ebene gespannt werden. Hierfür können magnetische, pneumatische oder hydraulische Vorrichtungen verwendet werden. Die Verschweißung der Profile mit der Platte (Kehlnähte) erfolgt meist mit einem Schutzgasverfahren, wobei häufig zwei Schweißköpfe gleichzeitig zum Einsatz kommen. Vorher müssen, evtl. in einer besonderen Station, die Profile aufgesetzt, durch Spannvorrichtungen fest auf das Blech gedrückt und geheftet werden.

Mechanisierte Verfahren nutzen **Führungsmaschinen**, an denen Arbeitsgeräte – Brenner, Schweißköpfe, Markiereinrichtungen – angebracht sind, die auf mechanisch zwangsgeführten, zumeist ebenen Bahnen definierte, immer ähnliche Aufgaben erfüllen (Beispiel: Brennmachine, Schweißportal).

Roboter sind Führungsmaschinen für Arbeitsgeräte, die in gewissen Grenzen ihres Arbeitsbereiches beliebige räumliche Bewegungen ausführen, deren Bahnkoordinaten vorher in einem Bahnführungsprogramm berechnet wurden. Dabei werden sowohl die eigentlichen Arbeitsspuren als auch die räumliche Umgebung zur Vermeidung von Kollisionen rechnerisch behandelt.

Beim derzeitigen Stand der Technik werden Roboter zum Bearbeiten von Profilen und zum Ausschweißen vormontierter Untergruppen und Gruppen eingesetzt. Hierfür sind Roboter-Schweißstationen eingerichtet, die einen Arbeitsbereich haben, der der Größe der zu bearbeitenden Bauteile entspricht. Häufig sind die Roboter an verfahrbaren oder versetzbaren Roboterportalen angebracht, so dass sie auch große Bauteile bearbeiten können.



Bild 2.6-9: Robotereinsatz im Schiffbau

Exkurs: Einsatz von Robotern

Der Einsatz von Robotern ist sinnvoll, wenn sich die zu fertigenden Teile oft wiederholen oder wenn bei Teilen mit einer kleineren Losgröße gleiche Arbeitsaufgaben oft wiederkehren. Letzteres gilt z.B. für einfach strukturierte geradflächige Bauteile, bei denen sich gerade Nähte in immer wieder ähnlicher Form wiederholen. Man findet auf Werften deshalb sowohl einfache Knickarm-Roboter, die in der Untergruppenfertigung relativ simple Schweißungen mit hohem Wiederholgrad durchführen als auch Systeme mit großem Arbeitsbereich, die einen Doppelboden ausschweißen. Hier haben sich die so genannten „Egg-Box“ Roboter bereits weit durchsetzen können. Innerhalb eines aus Längs- und Querträgern gebildeten Feldes übernimmt der Roboter alle Schweißaufgaben nach der Baugruppenmontage, d. h. die Ausschweißung der Vertikalnähte zwischen Längs- und Querträgern und an den Beulsteifen sowie aller Kehlnähte in den Verbindungen zum Innenboden. Außerdem werden die vorher manuell gehefteten Riegelbleche an den Spantdurchführungen angeschweißt. Die Schweißfolge in den einzelnen Boxen und die Reihenfolge des Schweißens der einzelnen Boxen wird nach dem Gesichtspunkt der geringsten Schweißdeformation festgelegt.

Eine anspruchsvolle Aufgabe ist die Programmierung der Schweißroboter. Für die Bahnplanung wird auf die

Geometrie-Information aus dem CAD-System zurückgegriffen. Mit einem zusätzlichen Programmmodul, welches die Robotergeometrie abbildet, wird die Kollisionsfreiheit während des Programmablaufes überprüft. Diese Arbeit wird im „off-line“-Verfahren geleistet, damit „teach-in“-Methoden unzulässig hohe Ausfallzeiten für die eigentlichen Schweißaufgaben entstehen würden.

Bei der mathematischen Beschreibung der Roboterbewegung im Raum, z.B. beim Schweißen in einer „Egg-Box“ oder in einer gekrümmten Außenhautsektion, liegt ein hochkomplexes dreidimensionales Problem vor, das mit der Anzahl der freien Roboterachsen steigt. Hier sind erst in jüngerer Zeit Rechenprogramme entwickelt worden, die die durch die Roboterkinematik gegebenen Verknüpfungen zwischen Schweißbahnplanung und Begrenzungen des Arbeitsraumes mit vertretbarem Rechenaufwand lösen können.

Neben den geometrischen Parametern müssen die aktuellen Schweißparameter je nach Schweißposition und erforderlicher Nahtgeometrie bereitgestellt werden. Die Sensorik ist zum Teil so weit, dass interaktiv, das heißt online, in die Schweißbearbeitung durch die Steuerung eingegriffen werden kann. Da im Allgemeinen mit wechselnder Größe des Luftspaltes zu rechnen ist, müssen Sensoren eingesetzt werden, die dies erfassen und die entsprechenden Informationen online einsteuern.

C 3 Reparatur- und Umbauarbeiten

Wie alle Transportmittel müssen Schiffe mit ihren Rümpfen und den in ihnen enthaltenen Anlagen regelmäßig gewartet, repariert oder je nach Bedarf umgebaut werden. Die deutschen Werften in Endhäfen von Schifffahrtslinien, z.B. in Hamburg, Bremerhaven oder Emden, oder an stark befahrenen Schifffahrtsstraßen oder Kanälen, z.B. in Rendsburg, haben sich auf diese Serviceleistung eingestellt und erwirtschaften mit diesen Arbeiten einen nennenswerten Teil ihres Umsatzes. Ob anspruchsvolle Spezialaufträge oder Routinearbeiten: Schnelligkeit und Qualität sind Merkmale für Wartung, Reparatur und Umbauten. Das Schiff als Glied in einer Transportkette soll möglichst kontinuierlich Waren oder Personen befördern, deshalb sind lange Werftliegezeiten zu vermeiden.

C 3.1 Wartungs- und Reparaturarbeiten

Wartungs-, Reparatur- und Umbauarbeiten fallen ständig an, da Schiffe – in Abhängigkeit von Schiffstyp und Marktsituation – eine lange Lebensdauer erreichen können. Das Passagierschiff „Queen Elizabeth 2“, 1968 in Dienst gestellt, wurde 1986/87 vom Turbinen- auf diesel-elektrischen Antrieb umgestellt (größter deutscher Handelsschiffumbau!) und erhält in regelmäßigen wiederkehrenden Abständen eine Grundüberholung. Auch regelmäßig wiederkehrende reine Wartungsarbeiten werden vermehrt von Landbetrieben durchgeführt, weil die Besatzungsstärke der Handelsschiffe immer geringer geworden ist und sich die Hafenliegezeiten verkürzt haben.



Bild C 3.1-1: Reparatur eines Fährschiffes im Schwimmdock

Schiffe werden im täglichen Einsatz, z. T. unter extremen Bedingungen, stark beansprucht und können Schäden erleiden. Um die Sicherheit der Seeschiffe dauernd zu gewährleisten, werden sie in regelmäßigen Abständen (z.B. alle fünf Jahre) von der jeweils zuständigen Klassifikationsgesellschaft („TÜV der Schifffahrt“) besichtigt und im Hinblick auf einen ordnungsgemäßen technischen Zustand überprüft, d. h., die „Klasse“ wird erneuert. Mit der Klassifizierung eines Schiffes bestätigt die Klassifikationsgesellschaft, dass es die Vorschriften und Richtlinien dieser Gesellschaft erfüllt und für den im Klassenzertifikat

genannten Fahrtbereich geeignet ist. Anlässlich einer solchen Besichtigung können mehr oder weniger schwere Mängel entdeckt werden, die zu beseitigen sind. Es müssen die sogenannten „Klassearbeiten“ durchgeführt werden.

Eine Reparatur des Schiffskörpers kann u. a. aus folgenden Gründen erforderlich werden:

- Verbände altern durch jahrelange, wechselnde Beanspruchung und genügen nicht mehr den Ansprüchen oder Vorschriften.
- die Außenhaut nutzt ab durch Korrosion infolge Fluss- und Seewassers, feuchter schadstoffhaltiger Luft u. a.
- Beschädigungen entstehen durch Kollisionen mit anderen Schiffen, Grundberührungen, Strandungen, Seeschlag, Anprall an den Kai oder die Landungsbrücke, Lade- und Löscharbeiten usw.

Durch eine fachgerechte Reparatur lassen sich die meisten Schäden völlig beheben und damit lässt sich die ursprüngliche Festigkeit des Schiffskörpers wiederherstellen. Die Schäden am Schiffskörper werden von der Werft beseitigt. Die Reparatur der maschinellen Anlagen, der Ausrüstung und der Einrichtung erfolgt von Fall zu Fall durch die Werft oder durch Fremdfirmen, die von der Werft beauftragt werden.

Bei größeren Reparaturarbeiten sind Bauteile, Maschinen und Anlagen zu demontieren, damit Verschleißteile ersetzt oder nachgearbeitet werden können.



Bild C 3.1-2: Austausch eines Motors

Arbeiten am Unterwasserschiff, an Wellendichtung oder Propeller („Schaft und Schraube“), am Ruder oder Querstrahler lassen sich nur am trocken gestellten Schiff ausführen. Die Anlagen hierzu (Trockendock, Schwimmdock, Schiffsliift, Slipanlage) wurden weiter oben beschrieben. Häufig wird dabei gleichzeitig ein neuer Unterwasseranstrich aufgebracht und die Opferanoden ausgewechselt.

Die Reparaturmöglichkeiten einer Werft werden von den Abmessungen und der Hebefähigkeit ihrer Docks bestimmt. Sehr große Passagierschiffe wie die „Queen Elizabeth 2“ und „Queen Mary 2“ können z.B. nur bei zwei deutschen Reparaturwerften in Bremerhaven und Hamburg gedockt werden, weil sie sowohl einen großen Leertiefgang als auch ein hohes Leergewicht haben.

Jede Reparatur verlangt eine exakte Planung. Vor Beginn müssen alle auszuführenden Arbeiten zwischen Werft, Reederei, Schiffsversicherung und Klassifikationsgesellschaft festgelegt und in einem Reparaturplan zusammen mit Zeitangaben und Terminen festgehalten werden. Eine Preisvereinbarung ist zu treffen. Material ist zu bestellen, Arbeitskräfte, Maschinen, Vorrichtungen, Hebezeuge, Schweiß- und Brenneinrichtungen etc. müssen bereitgestellt werden. Reinigungs- und Umweltschutzmaßnahmen verlangen besondere Beachtung.



Das Buch „Schiffstechnik und Schiffbautechnologie“ richtet sich ursprünglich an Auszubildende im Schiffbau, um ihnen in konzentrierter Form Grundkenntnisse über ihre Arbeitsumgebung zu vermitteln. Seit der Erstauflage erfreut sich dieses Werk zunehmender Beliebtheit bei allen Schiffbauinteressierten, da dieser gut verständliche Leitfaden Basisinformationen über die Schiffstechnik und über die Arbeit auf einer Werft für die gesamte maritime Aus- und Weiterbildung bietet.

Das Werk gliedert sich in die Hauptkapitel:
„Schiffstheorie und Entwurf“,
„Das System Schiff“,
„Schiffbautechnologie“.

ISBN 10: 3-87743-817-2

ISBN 13: 978-3-87743-817-6



VERBAND FÜR SCHIFFBAU UND
MEERESTECHNIK E. V.

mehr darüber: <http://www.vsm.de>

Ein Mitgliedsverband im Bundesverband der
Deutschen Industrie e. V.

