

2 Auswertung der Literatur

Die Schwerpunkte der Entwicklungen auf dem Gebiet der FEM haben sich in den letzten Jahren sehr stark verschoben. Diese ist sicherlich auf die enorm gewachsene Leistungsfähigkeit der Hardware zurückzuführen. In diesem Abschnitt erfolgt eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Literaturstellen. Eine ausführliche Auswertung ist in /V23/ enthalten.

Verglichen mit den heutigen Möglichkeiten wurden in den ersten Jahren der FEM die Modelle im Schiffbau sehr grob vernetzt. Durchgeführt wurden lineare Analysen, wobei es sich bei der verwendeten Software um Eigenentwicklungen handelte. Einige Arbeiten behandeln intensiv die Unterschiede zwischen den herkömmlichen Berechnungsmethoden und der FEM, wobei die Gründe für die Anwendung dieser Methode ausführlich erläutert werden /Payer79/. Festzuhalten ist eine Abkehr von der Dimensionierungsformel hin zum Spannungsnachweis der Elastizitätstheorie /Payer85/.

Um Freiheitsgrade einzusparen, sind in den ersten Untersuchungen fast nur Scheiben und Stabelemente genutzt worden. Balkenelemente sind nur verwendet worden, wenn dies zwingend notwendig war. Auf Platten und Schalen verzichteten die Autoren ganz. Konstruktive Details (Fensteröffnungen, aufgesetzte Versteifungen etc.) sind nicht modelliert, sondern in der Elementsteifigkeitsmatrix berücksichtigt. So werden Versteifungen z. B. durch orthotrope Stoffmodelle erfaßt. Solche Elemente für größere Strukturen werden auch als Superelemente bezeichnet. Diese Technik ist später auch auf nichtlineare Bereiche ausgedehnt worden, indem in Abhängigkeit von den Randbedingungen unterschiedliche Steifigkeitsmatrizen eingesetzt werden.

Bezüglich der Substrukturtechnik wurden in der Literatur zwar einige Empfehlungen gegeben (z.B. /Schelle55/), ein Hinweis auf die konkrete Verwendung dieser Technik konnte in keinem der betrachteten Aufsätze gefunden werden.

Zu Beginn der 90 er Jahre ist eine verstärkte Anwendung der FEM zu beobachten. Besonders bei der Entwicklung von großen Schiffen auf der Basis von kleineren, ähnlichen Schiffen wird die Anwendung der FEM dringend empfohlen /Abe95/, /GL97/. Dies gilt besonders für Containerschiffe (/Payer85/, /Sven95/), bei denen eine gemeinsame Betrachtung der Längs- und Querbelastrungen sowie der Torsion angeraten wird. Als Konstruktionskriterien gelten die Verformungen des Lukensülls und der evtl. mögliche Verzicht auf Querschotte und Querriegel.

Bei den untersuchten Strukturen handelt es sich um komplette Schiffe, Laderaumsegmente /Gritl89/ und Detailkonstruktionen wie z. B. Lukenecken und Biegeträgern mit Ausschnitten /Gritl89/, /Lehmann89/. An den Detailmodellen interessieren besonders Kerbspannungsuntersuchungen /Gritl89/.

Bei der Modellierung ist festzustellen, daß sich die zahlreichen Eigenentwicklungen bezüglich Software und vereinfachenden Elementtypen (/Ramm82/, /Ueda84/, /Paik90/ u.a.) nicht durchgesetzt haben. Der Trend geht zur Verwendung kommerzieller Programmsysteme unter Anwendung von universellen Schalenelementen, wobei keine Superelemente und keine Substrukturtechnik angewendet werden. Dies gilt besonders für jüngere Arbeiten /Abe95/, /Sven95/, in denen auch für Träger und Versteifungen Schalenelemente genutzt werden. Dies wird als notwendig angesehen, um auch das Steifenversagen (Kippen, Ausbeulen der Stege) nachzubilden zu können /Yao97/. Es entstehen so sehr detailliert vernetzte Modelle bei denen ca. 300.000 Freiheitsgrade üblich sind.

Als noch nicht ausgereift kann die Beschreibung der Randbedingungen angesehen werden. Um ein Gleichgewicht zwischen Belastungen und hydrostatischen Auftrieb zu erhalten, werden unterschiedliche Techniken /GL97/, /Sven95/ angewendet, wobei i.a. eine Kombination von globalen, lokalen und Detailmodellen (Laderaumsegment - Lukenecke) erfolgt. Die dargelegten Vorgehensweisen erfordern aber noch einen hohen manuellen Bearbeitungsaufwand durch den Anwender.

In Einzelfällen sind für zukünftige Untersuchungen der Schiffsfestigkeit u.U. auch die aufwendigen nichtlinearen Kontaktrechnungen gerechtfertigt. Als Beispiel hierfür soll das Zusammenspiel zwischen Lukensüll, Lukendeckel und Dichtungen genannt werden /Payer85/.

Auf dem Gebiet der nichtlinearen FE-Berechnungen ist eine enorme Weiterentwicklung /Ramm82/ zu verzeichnen. Neben Elementtypen mit guten Konvergenzeigenschaften sind zuverlässige Algorithmen zur Schrittweitensteuerung entwickelt worden. In den Untersuchungen findet eine verstärkte Berücksichtigung der Imperfektionen /Payer77/, /Kröplin77/, /Lehmann89/, /Kmiecik92/, /Abe95/, /Sven95/ statt.

Bei der Durchführung solcher Analysen wird die Vorgehensweise i.a. anhand einfacher konstruktiver Elemente verifiziert (z. B. Lochscheibe /Fricke85/). Anschließend wird diese auf komplexere Strukturen übertragen. Die Abweichungen zwischen FE-Ergebnissen und Experiment werden mit nicht erfaßten Nichtlinearitäten des Modellversuchs (i.a. fertigungsbedingte Imperfektionen) erklärt.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß sich in den ersten Jahren die Arbeiten mit einer Verbesserung der FEM (z. B. Elemententwicklungen) bzw. einer Senkung der erforderlichen Rechnerkapazität beschäftigten. Jüngere Untersuchungen konzentrieren sich auf neue Forschungsschwerpunkte. Diese beziehen sich eher auf die Entwicklung neuer Schiffskonstruktionen bzw. einer Optimierung von Detaillösungen. Weitere Schwerpunkte liegen auf dem Gebiet der Betriebsfestigkeit und Materialwissenschaften /Fricke85/.

Wie schon erwähnt, geht die Tendenz eindeutig zur Verwendung kommerzieller Programmsysteme und deren Standardelemente. So werden z. B. in den ISSC Berichten sogenannte *in-house codes* nur noch am Rande erwähnt. Die Qualität der Ergebnisse solcher kommerzieller Programme wird ausdrücklich bestätigt /ISSC91III.1 S.335/. Weiter wird es als sinnvoller angesehen, die Ingenieurkapazitäten bei der Modellerstellung zu reduzieren als Berechnungszeiten einzusparen.

Festzustellen ist, daß sich die ausführlichen FE-Untersuchungen auf Seeschiffe beziehen. Betrachtungen an Binnenschiffen, die den heutigen Möglichkeiten entsprechen, wurden bisher nicht durchgeführt. Auch sind bisher keine nichtlinearen Analysen an globalen Schiffsmodellen bekannt. Diese Lücke soll durch die vorliegende Arbeit geschlossen werden.

Eine Übersicht über die wichtigsten Arbeiten unter Anwendung der FEM und eine Einschätzung der zukünftigen Entwicklung ist in der Tabelle 2-1 enthalten.

verwendete FE-Elementtypen	Zeitraum	Bsp. in Quellen	max. Freiheitsgrade	Lastfälle: Hogging Sagging Torsion	Art der Berechnung: linear nichtlin.	Ziel der Analysen: Spannungen Verformungen Eigenwerte	besondere Features
Balkenmodell nach Bernoulli	1955 1970 1972	/Schelle55/ /Schelle70/ /Kämel72/		H, S	l	S, V, E	Substrukturtechnik
Kombination aus Stäben und Scheiben	1986	/Hermes86/	4 500	H, S, T	l	S, V, E	keine
Kombination aus Balken und Scheiben	1979 1985	/Payer79/ /Payer85/			l	S, V, E	keine
Kombination aus Balken, Scheiben und Platten	1992	/Hermes92/					
Kombination aus Balken und Schalen	1995 bis 1999	/V28/ /V30/ /V31/ /V32/ /V35/	24 000 - 100 000	H, S Ladung mit Erz, Kies, Container	l, nl	S, V, E Untersuchungen der Strukturstabilität	Imperfektionen z.T. automatische Vernetzung Optimierung Detailprobleme (nur linear)
nur Schalen	bis ca. 2000	/ISSC97III.1/ /V28/ (für lokale Modelle)	> 100 000	H, S, T	l, nl	S, V, E Untersuchungen der Strukturstabilität	adaptive Vernetzung Optimierung des Gesamtmodells
nur Volumenelemente	in Zukunft	/Lehmann76 S.252/	?		nl	S, V, E Untersuchungen der Strukturstabilität	automatische Hex-Vernetzung adaptive Vernetzung Optimierung des Gesamtmodells

Tabelle 2-1: Entwicklungen der FEM im Schiffbau

Table 2-1: Developments of FEM for shipbuilding

