



Ahoi!

Spannungsanalyse bei Fertigung und Betrieb von Schiffs- und Stahlbaustrukturen

Größere Tragstrukturen im Schiffsbau wie auch im Stahlbau werden in der Regel durch Schweißen gefügt. Schweißen ist ein rigoroser technologischer Eingriff, der mit seinem lokalen Wärmeeintrag zu signifikanten Veränderungen des Werkstoffgefüges und zur Entstehung erheblicher Schrumpfkkräfte führt. Die Behinderung der freien Schrumpfung im Nahtbereich während des Abkühlens ist die Ursache für Schweißdeformationen und Eigenspannungen. Diese erhöhen das Versagensrisiko unter Betriebslast. Für die Optimierung der Fügeverfahren und die Minderung von Versagensrisiken sind deshalb detaillierte Kenntnisse über die Verteilung von Deformationen und Spannungen erforderlich. Angesichts verschärfter Sicherheitsvorschriften gewinnt auch die Überwachung bereits existierender Strukturen ständig an Bedeutung.

Das Verständnis der komplexen Beanspruchungszustände wird sowohl auf theoretischem als auch auf experimentellem Wege verfolgt. Moderne Berechnungsverfahren mit Finiten Elementen oder der Randintegralmethode erlauben die wirklichkeitsnahe Modellierung sowohl der Tragwerksgeometrie als auch der Rand- und Belastungsbedingungen. Moderne messtechnische Hard- und Software erweitern die Grenzen hinsichtlich Speicherkapazität, Rechengeschwindigkeit und Visualisierung der Ergebnisse um ein Vielfaches. Dennoch sind der Modellierung technologischer Prozesse und des Tragwerkverhaltens Grenzen gesetzt. Die Kenntnis der zeitabhängigen Belastung und der Antwort der Struktur auf diese Belastungen hat außerdem eine nicht zu unterschätzende Bedeutung für die Verifizierung theoretischer Modelle und Berechnungsverfahren, für die konstruktive Optimierung der Struktur sowie für die technologische Optimierung der Produktion und nicht zuletzt für die Frühwarnung und Vermeidung lokaler oder gar globaler Versagensphänomene.

Um im Fertigungsprozess von großen Schiffsstrukturen messtechnische Geräte – Aufnehmer und Aufzeichnungsgeräte – zu platzieren, muss man sich auf harte Umgebungsbedingungen einstellen. Dies bedeutet von vornherein, dass nur robuste, möglichst autark arbeitende und zuverlässige Technik zum Einsatz kommen kann. Für Langzeitmessungen an Schiffen oder bei anderen Stahlbaustrukturen gel-

Anforderungen an ein universelles Messdatenerfassungssystem

ten diese Anforderungen ebenso, da vom (Schiffs-)Personal im rauen Praxisbetrieb wenig Rücksicht oder Sorgfalt zu erwarten sind. Voraussetzung ist auch eine einfache Bedienbarkeit, wenn Einstellungen von Fremdpersonal notwendig werden. Aus der Sicht des Messtechnikers sollten Aufzeichnungsgeräte (Recorder) einfach zu bedienen und möglichst anpassungsfähig an unterschiedliche Messaufgaben sein. Dies betrifft sowohl die Abstraten, die in weitem Bereich einstellbar sein müssen, als auch die Möglichkeiten, Daten langfristig sicher zu speichern und kurzfristig zur visuellen Überprüfung abrufbar zu halten. Um das Datenvolumen bei Langzeitmessungen zu begrenzen, sind geeignete Reduktionsmethoden vorzusehen. Wünschenswert ist eine Selbstüberprüfung, um die Datensicherheit zu gewährleisten. Da-

ten diese Anforderungen ebenso, da vom (Schiffs-)Personal im rauen Praxisbetrieb wenig Rücksicht oder Sorgfalt zu erwarten sind. Voraussetzung ist auch eine einfache Bedienbarkeit, wenn Einstellungen von Fremdpersonal notwendig werden.

Aus der Sicht des Messtechnikers sollten Aufzeichnungsgeräte (Recorder) einfach zu bedienen und möglichst anpassungsfähig an unterschiedliche Messaufgaben sein. Dies betrifft sowohl die Abstraten, die in weitem Bereich einstellbar sein müssen, als auch die Möglichkeiten, Daten langfristig sicher zu speichern und kurzfristig zur visuellen Überprüfung abrufbar zu halten. Um das Datenvolumen bei Langzeitmessungen zu begrenzen, sind geeignete Reduktionsmethoden vorzusehen. Wünschenswert ist eine Selbstüberprüfung, um die Datensicherheit zu gewährleisten. Da-



Abb. 1: Recorder Micro-II

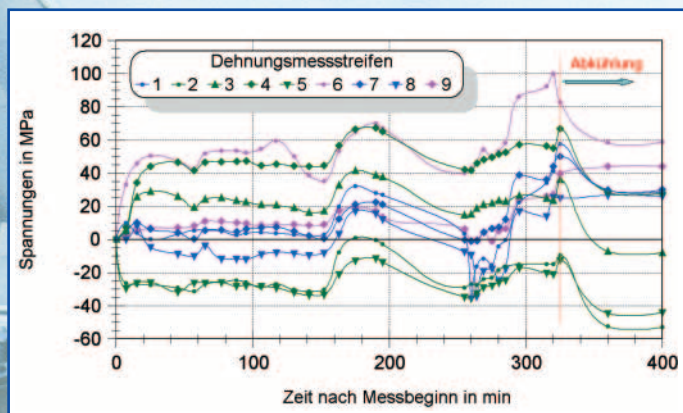


Abb. 2: Schweißspannungen in einer orthotrop versteiften Flachsektion

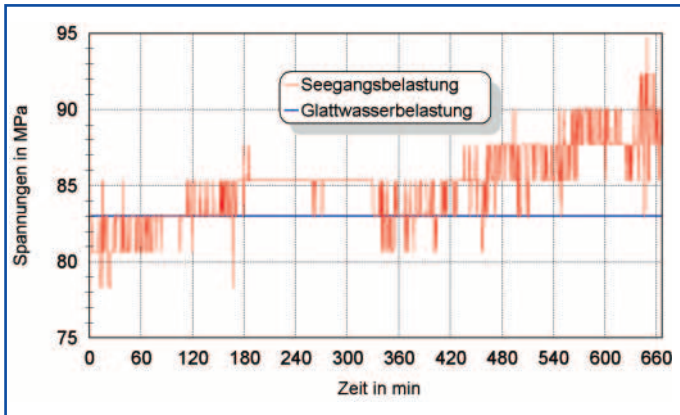


Abb. 3: Seegangsinduzierte Spannungen in einer Schiffsstruktur

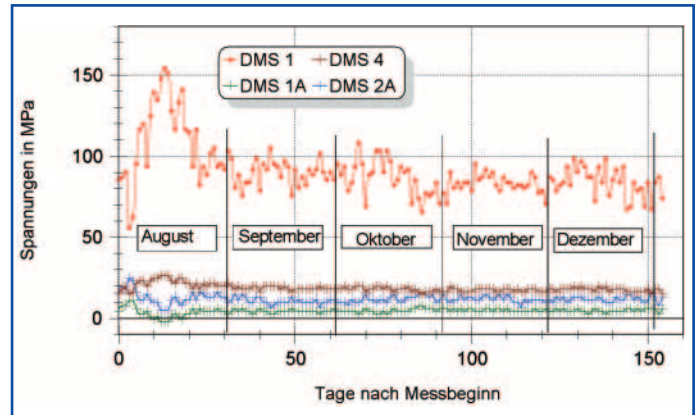


Abb. 4: Langzeit-Spannungsüberwachung in einer Schiffsstruktur

rüber hinaus sollte die „Technik“ möglichst geringe Abmessungen haben, und sie sollte kostengünstig sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb sein.

Die nachfolgend ausgewählten Beispiele wurden mit dem Messdatenerfassungssystem Micro-II der Firma Swift GmbH Reinheim durchgeführt. Hauptkomponente ist der in Modulbauweise in robuster CMOS-Technik ausgeführte Recorder (Abb. 1). Er kann mit max. 20 analogen und 16 digitalen Kanälen ausgestattet werden, Messbereich 1µV bis 10V, Abtastrate bis 2kHz. Die Bedienung – Messparameter, Start / Stopp, Anzeigen, Datenübertragung – erfolgt über einen Laptop-PC. Standardmäßig steht eine Vielzahl von Auswerteargorithmen zur Verfügung, die eine Anpassung an praktisch alle gängigen Messaufgaben erlaubt.

Messungen zur Optimierung technologischer Verfahren

Bekanntlich wird beim Schweißen von Stahlplatten zu größeren Einheiten (ebene Paneele) die Wärmequelle entlang des im Voraus in engen Grenzen eingestellten Schweißspaltes geführt. Der Schweißspalt hängt von der Plattendicke, dem zu schweißenden Werkstoff und dem Schweißverfahren ab. Das sich in der nahtnahen Zone ausbildende, zeitabhängige Temperaturfeld bewirkt eine ständige Veränderung der eingestellten Spaltabmessung, so dass es zur Entstehung eines größeren (Spreizung) oder kleineren (Verengung) Spaltes kommt. Diese Erscheinung wird als „Schweißspaltatmung“ bezeichnet. Beide Phänomene sind unerwünscht und können negative Auswirkungen haben.

Als gutes Beispiel zeigt Abb. 2 den auf der Grundlage von DMS-Messungen ermittelten Spannungsverlauf in ausgewählten Punkten einer orthotrop versteiften ebenen Stahlsektion der Abmessungen 8 m x 4 m, bestehend aus

Beplattung sowie in Längs- und Querrichtung angeordneten Doppel-T-Trägern, die mittels beidseitiger Kehlnähte verschweißt sind. Die Messung erfolgte während des Schweißens. Messbeginn und Schweißbeginn waren identisch.

Die relativ weit von der Stelle, an der das Schweißen begonnen wurde, applizierten DMS 1 und 7 zeigen nur einen geringen Einfluss der Schweißdeformation, die von den restlichen DMS gleich zu Beginn registriert wird. Erst nach ca. 150 min. ist eine nennenswerte Änderung der DMS-Anzeige an den Applikationsorten 1, 7 und 8 zu beobachten, weil zu diesem Zeitpunkt die in der Nähe dieses Applikationsortes verlaufenden Kehlnähte abgeschweißt worden sind. Nach Abschluss der Schweißarbeiten setzt die Abkühlung der Gesamtstruktur ein und ca. 360 min. nach Messbeginn ist ein Eigenspannungszustand mit Zug- und Druckspannungen zu registrieren.

Experimentelle Ermittlung von seegangsinduzierten Spannungen in einer Schiffsstruktur

Seegangsinduzierte Spannungen in der Schiffsstruktur haben einen stochastisch schwingenden Charakter und können je nach Seegang wesentlich über dem Niveau der Spannungen liegen, die aus dem Beladezustand des Schiffes bei Glattwasser resultieren. Abb. 3 zeigt die Verteilung in Richtung der Schiffslängsachse, die an einer typischen Schiffsstruktur gemessen worden ist. Seegangsinduzierte Spannungen sind bestimmend für das Ermüdungsverhalten der Konstruktion. Da Ermüdungsphänomene zwar prinzipiell vorhersehbar und daher beherrschbar sind, ihr Auftreten jedoch einer sehr großen Streuung unterliegt, ist ihre Entdeckung wegen der begrenzten Zugänglichkeit auch bei sorgfältiger visueller Kontrolle sehr erschwert, zumal die Ermüdungsriss unter der Kon-

servierungs- oder Korrosionsschicht schlecht zu erkennen sind. Eine laufende Überwachung des Spannungszustandes in der Nähe anrissgefährdeter Strukturen kann zu einem Früherkennen von Schäden beitragen, so dass rechtzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können. Da die gefährdeten Strukturbereiche durch Berechnungen zum Nachweis der statischen und der Schwingfestigkeit des Schiffskörpers im Voraus bekannt sind, reicht in der Regel die Applikation einer begrenzten Anzahl von Gebern aus, um dieser Gefahrensituation effektiv zu begegnen.

Der Langzeitverlauf der Spannungsverteilung in der Nähe einer geschädigten Struktur zeigt in der Regel einen Trend zur laufenden systematischen Veränderung, der beim DMS 1 in Abb. 4 zu erkennen ist. Wenn dieser DMS keine Drift hat und auch sonstige Messfehler ausgeschlossen werden können, so deutet die ständige Abnahme der Spannung in den Monaten nach August auf eine mögliche Schädigung in der Umgebung dieses Messortes hin, da während dieser Zeit auch der Beladezustand des Schiffes unverändert blieb. Dagegen ist dieser Trend bei der Anzeige der restlichen drei DMS nicht zu beobachten.

Prof. Dr.-Ing. habil G. Metschkow
Infert GmbH

Dipl.-Ing. Wolfgang Uhse
Swift GmbH

Tel. 06162/82086
info@swift-online.de
www.swift-online.de

