

# Bondship

Bonding of lightweight materials for cost effective production of high speed craft and passenger ships.

EU 5. Rahmenprogramm,  
Growth GRD1-1999-11012 (2000 – 2003).

## Situation

Das Kleben gewinnt im Schiffbau zunehmend an Bedeutung. Zum einen ermöglicht die Klebtechnik die Realisierung neuer Mischbauweisen, zum anderen erlaubt sie – auch in Kombination mit anderen Fügeverfahren – neue Leichtbauweisen, die auch für Schiffe von Bedeutung sind. Bislang blieb das Potenzial der Klebtechnik für den Schiffbau aufgrund der Fertigungsbedingungen, des schwer zugänglichen Langzeitverhaltens und fehlender Zulassungsrichtlinien vielfach ungenutzt. Die Klebtechnik ist im Schiffbau an den Stellen interessant, an denen verschiedene Werkstoffe, wie zum Beispiel Aluminium und Stahl oder Stahl mit Faserverbundwerkstoffen verbunden werden sollen. Kreuzfahrtschiffe werden zunehmend in modularer Bauweise erstellt. Die Module befinden sich in fast allen Bauphasen und werden gleichzeitig bearbeitet.

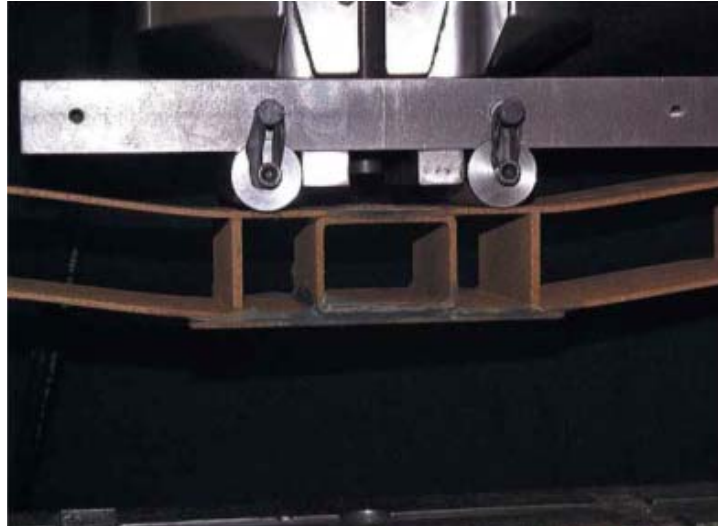


Abb. 2: Mechanische Prüfung einer gealterten Klebverbindung.

Die Klebtechnik als wärmearmes Fügeverfahren ermöglicht das Verbinden von bereits endlackierten Bauteilen, bei denen das Schweißen aufgrund der Brandgefahr ein erhebliches Risiko darstellt. Eine weitere Forderung resultiert aus den Toleranzen der Bauteile, die oft Klebnahtdicken und Dickenänderungen bis zu einigen Millimetern erfordern.



Abb. 1: Eingeklebtes Schwimmbecken.

## Aufgabe

Im Mittelpunkt eines dreijährigen Forschungsprojektes stand die Untersuchung mehrerer Anwendungsfälle für den Bau von Schnellfähren und Kreuzfahrtschiffen. Ziel des Projektes war die Erarbeitung von Konstruktionsmethoden mit Berücksichtigung des Langzeitverhaltens. Weiterhin sollen die Projektergebnisse eine Basis für Zulassungsrichtlinien bilden. Für die spezifizierten Anwendungsfälle sollten Verbindungstechniken qualifiziert werden.

## Ergebnisse

Zur Entwicklung einer praxisnahen Vorgehensweise wurden bei den teilnehmenden Werften Anwendungsfälle für die Klebtechnik im Schiffbau spezifiziert. Zu diesen Anwendungsfällen wurden Anforderungsprofile erarbeitet, die konkrete Daten zur Geometrie und den Lasten, zur Fertigung, zur Montage, zu den Betriebsbedingungen und zu weiteren Aspekten der Produktentwicklung und des Produktlebens enthielten.

Zum Einsatz kamen sowohl höherfeste Klebstoffe auf Epoxy- und Methylmetacrylatbasis als auch gummielastische, flexible Klebstoffe auf Polyurethanbasis. Die Klebverbindungen sollten

sowohl auf vorbehandelten Metalloberflächen als auch auf gestrichenen bzw. endlackierten Oberflächen ausgeführt werden können. Bei der konstruktiven Auslegung und der Kennwertermittlung mussten die Oberflächen und Oberflächenzustände berücksichtigt werden, die unter Werftbedingungen erzielt werden konnten.

Entsprechend der schiffbauspezifischen Anforderungen an die Substratoberflächen, Klebschichtdicken und Alterungsbedingungen wurde eine Vorauswahl von Klebstoff und Oberflächenkombinationen durch kleine Proben, insbesondere Zugscherproben, getroffen. Untersucht wurden für eine Qualifizierung neben den mechanischen Eigenschaften insbesondere der spezifische elektrische Widerstand der Klebverbindung zur Abschätzung der Kontaktkorrosionseigenschaften und der pH-Wert des ausgehärteten Klebstoffes in demineralisiertem Wasser zur groben Einschätzung des Korrosionsverhaltens auf Aluminiumoberflächen. Weiterhin wurde die Kompatibilität zwischen Klebstoffen und den Polymeren der Beschichtungssysteme festgestellt.

Die Anwendungsfälle wurden auf den Werften in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern in Demonstratoren realisiert, die auf jeder Werft aufgebaut wurden. Neben der gewonnenen Fertigungserfahrung an 1:1-Bauteilen konnten notwendige Bauteilversuche durchgeführt werden, die insbesondere zur Verifikation der Auslegungsmethoden herangezogen wurden. Parallele Bauteilversuche für ausgewählte Fälle unter schwingender und kombiniert schwingender und korrosiver Belastung im Labor und unter Freibewitterung ergänzten die Datengrundlage.



Abb. 3: Alterung mit Seewasser.

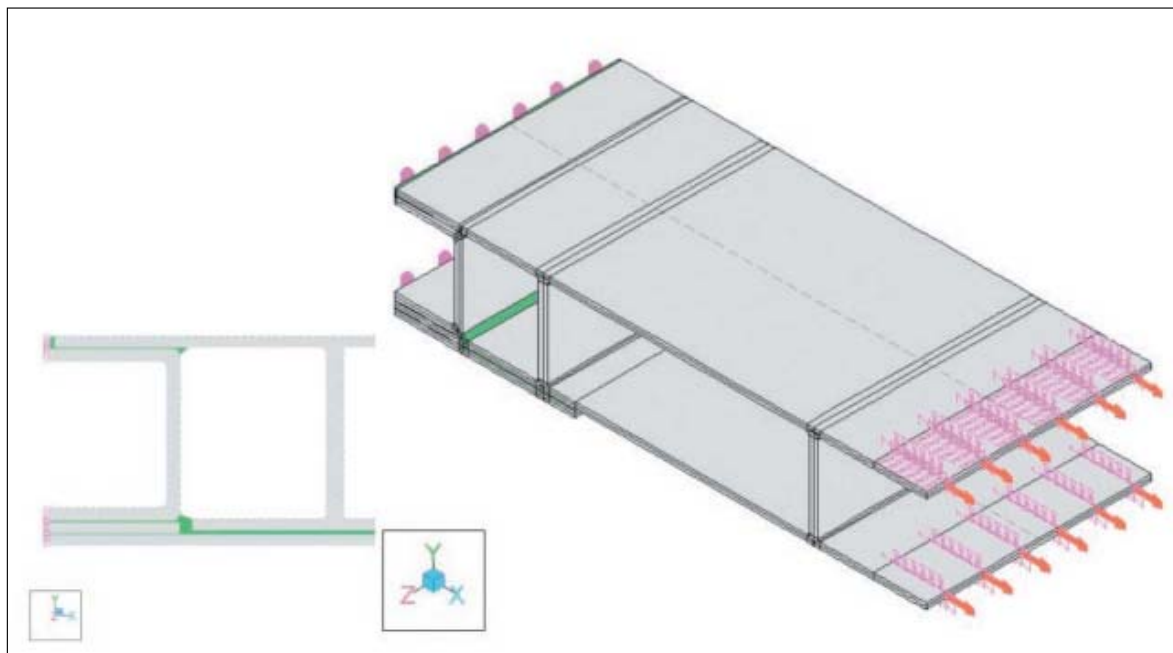


Abb. 4: Finite-Elemente-Modell einer Stahlsandwichverbindung.

Der Schiffbau fordert für die Auslegung der Klebverbindungen einfache Methoden. Eine konstruktive Auslegung sollte auf Grundlage einiger einfacher Formeln erfolgen können. Das Projekt hat gezeigt, dass es diese Art der »einfachen« Lösungen nicht gibt. In der Regel wird es nicht möglich sein, im Schiffbau alle Verbindungen ausschließlich so zu gestalten, dass die Lasten in Scherung übertragen werden. Neben der variablen Klebschichtdicke erzeugen lokales Beulverhalten, Momente und Querkräfte in den Klebfugen Spannungszustände, die analytischen Ansätzen nicht mehr leicht zugänglich sind. Es hat sich gezeigt, dass in diesen Fällen parametrisierbare Finite-Elemente-Modelle mit linear-elastischer Näherung den »einfachsten« Zugang zur Bewertung von Klebverbindungen ermöglichen. Es können experimentell basierte Bewertungskriterien erzeugt werden, die zwar nicht zu einer 100-prozentigen Ausnutzung des Potenzials der Klebverbindung führen, jedoch einen konservativen Ansatz ermöglichen.

#### Ansprechpartner

Markus Brede  
 Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 76  
 E-Mail: mb@ifam.fraunhofer.de

#### Projektpartner

Det Norske Veritas  
 Fincantieri  
 Vosper Thornycroft  
 Meyer Werft  
 Alusuisse  
 Sika AG  
 Cetena  
 Fireco  
 NDT Solutions Ltd  
 Stena Rederi  
 University of Southampton  
 DGA/CTA

#### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung, IFAM,  
 Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
 Bremen