

# Brandhemmende Verbundwerkstoffplatte für den Schiffbau

In Kreuzfahrt- oder Handelsschiffen werden faserverstärkte Verbundwerkstoffe aus Brandschutzgründen kaum verwendet. Saertex hat nun eine brandhemmende Standardplatte entwickelt und gemeinsam mit der Meyer Gruppe Sonnendeck und Außenwände eines Flusskreuzfahrtschiffs in einer Sandwichkonstruktion ausgeführt, die 45 % des Gewichts einspart.

## Überzeugungsarbeit

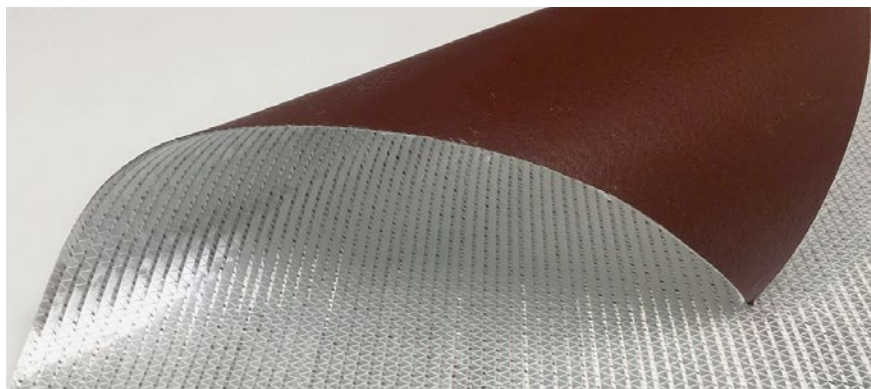
Der Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen (FVK) ist seit vielen Jahren Standard im Bootsbau. In großen Schiffen wie Kreuzfahrt- oder Handelsschiffen werden diese Werkstoffe bis heute allerdings kaum verwendet, obwohl der Einsatz von Verbundwerkstoffen viele Vorteile in Bezug etwa auf Energieeinsparung, Feuersicherheit, Designfreiheiten und Wartung bieten würde. In einem Forschungs- und Entwicklungsprojekt ist es Saertex zusammen mit der Meyer Gruppe gelungen, Stahl und Aluminium im Schiffsbau durch Verbundwerkstoffe zu ersetzen. Für das neu entwickelte, 110 m lange Flusskreuzfahrtschiff der Werft wird das gesamte Sonnendeck und die darunter lie-

genden Außenwände in einer Sandwichkonstruktion ausgeführt, die hier 45 % Gewicht einspart. Die größten Herausforderungen bei der Entwicklung lagen zum einen bei den mechanischen Eigenschaften des oberen und des unteren Decks sowie den strengen Brandschutzanforderungen für Schiffe. Zum anderen mussten Personen und Behörden überzeugt werden, dass Verbundwerkstoffe eine mit Stahl vergleichbare beziehungsweise sogar bessere Lösung sind. Um die verschiedenen Personenkreise wie traditionelle Stahlschiffbauer, Schiffseigner und die nationalen und europäischen Behörden von der Tauglichkeit des Materials zu überzeugen, wurden diverse Brandversuche durchgeführt sowie ein Mock-up mit den Abmessungen 11,4 m ×

10,2 m gebaut. Weiterhin waren verschiedene Präsentationen und Vorstellungen bei den zuständigen Behörden wie dem Schiffsklassifizierer DNV GL, der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) in Straßburg und beim Bundesministerium für Verkehr für die Zulassung durch das ZKR als oberste europäische Genehmigungsbehörde für Binnenschiffe nötig.

## Maritime Standardplatte

Das Design der Materialien wurde in enger Abstimmung zwischen der Meyer Gruppe und Saertex entwickelt. Eingesetzt wird eine Auswahl an Materialien aus der Saertex Produktlinie „Leo“, welche für besonders hohe Brandschutzanforderungen entwickelt wurde. Diese besteht aus multiaxialen Glasgelegen, dem Produkt Saerfoam als Kernmaterial, einem Vinylesterharz und einer zusätzlichen Schutzschicht. Durch das neue Design reduziert sich der Tiefgang des Flusskreuzfahrtschiffs um 5 cm. Hierdurch kann der Reeder nicht nur seine Fahrsaison verlängern, sondern auch zusätzliche Fahrtgebiete für seine Flotte erschließen. Darüber hinaus sinkt der Brennstoffverbrauch und somit auch die Emissionen des Schiffs. Dieses Projekt stellt einen Meilenstein für die zukünftige Anwendung von Verbundwerkstoffen in tragenden Strukturen für größere Schiffe dar, da die technische Machbarkeit für die Erstellung



**BILD 1** „Leo Coated Fabric“ ist ein mit dämmschichtbildenden Additiven beschichtetes, modifiziertes multiaxiales Glasgelege (© Saertex)

## Autoren



JÖRG BÜNKER  
ist Forschungs- und  
Entwicklungsleiter im  
Bereich Anwendung  
und Service von Leo  
bei der Saertex GmbH  
und Co. KG in Saerbeck.



MARKUS ELFGÉN  
ist Manager Sales und  
Projektmanager bei der  
Saertex GmbH und  
Co. KG in Saerbeck.

größerer Strukturen und die Zulassungsfähigkeit der für den Schiffbau völlig neuen Materialtechnologie nachgewiesen werden konnten.

Diese Entwicklung ist nicht nur für Binnenschiffe wichtig, sondern auch für große seegehende Schiffe, da etwa die Anforderungen an den Brandschutz auf derselben Vorschrift der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (International Maritime Organization, IMO) basieren. Dieses Projekt hat erneut aufgezeigt, dass die zahlreichen Möglichkeiten, Verbundwerkstoffe einzusetzen, mit Vorteilen, aber auch Herausforderungen verbunden ist. Die Lösungswege, um die im Projekt gestellten Anforderungen zu erfüllen, sind vielfältig. Somit mussten im Projekt

**TABELLE 1** Exemplarische Prüfergebnisse zur Rauchentwicklung gemäß IMO-FTP-Code, Part 2, Rauch- und Toxizitätsmessungen, für einen Sandwichtaufbau samt Kernmaterial mit einer minimalen Trockenschichtdicke von 500 µm (© Saertex)

Ergebnisse	$D_{s,max}$	Zeit bis $D_{s,max}$ [s]	Versuchsende [s]
25 kW mit Flamme	37,84	1198	1200
25 kW ohne Flamme	121,39	1193	1200
50 kW ohne Flamme	229,85	1200	1200

▶ **Verarbeitbarkeit**  
▶ **Transportlogistik**  
zu erfüllen. Die zahlreichen Einflussfaktoren erschweren in maritimen Projekten die Auswahl und Auslegung der Materialien. Zudem ist die Datenlage hinsichtlich Verbundwerkstoffen und Leichtbau oftmals gering. Standardisierte Rohstoffe oder Halbzeuge können nicht genutzt werden.

Mit diesen Erfahrungen hat Saertex eine neue sogenannte maritime Standardplatte für den Einsatz im maritimen Bereich entwickelt und umfangreichen Tests unterzogen. Der Nutzer kann von den vorliegenden Ergebnissen als Basis für sein Einsatz-Szenario profitieren. Die Resultate beinhalten Werte

- ▶ für das Brandverhalten: Rauchgasdichte, Toxizität, Wärmefreisetzung und strukturelle Integrität
- ▶ zum Schalldurchgang
- ▶ zu den mechanischen Eigenschaften und können als Eingabe für Finite-Elemente(FE)-Berechnungen genutzt werden.

Die maritime Standardplatte ist Grundlage für Auswahl und Optimierung des Materials in Bezug auf die Projektanforderung. Die Erfahrungen aus dem aktuellen Projekt fließen nicht nur in die Materialauswahl ein, sondern auch in die Herstellung

Brandfall carbonisierend und fungiert dann als erste Barrierschicht, die das strukturelle Laminat isolierend vor Feuer schützt. Allerdings hat diese Schutzschicht Nachteile bei der Herstellung von brandgeschützten Bauteilen, da sie in einem zweiten Produktionsschritt vorab als Gelcoat oder als Topcoat auf das fertige Bauteil aufgetragen werden muss.

Saertex hat es geschafft, auf den Einsatz dieser Schutzschicht zu verzichten und die ebenen brandgeschützten Platten deutlich effizienter herstellen zu können. Hierzu werden die brandschutzaktiven, dämmschichtbildenden Materialien direkt auf das Glasgelege aufgebracht, wie in Bild 1 dargestellt. Die brandschutzmodifizierte Decklage wird wie ein Standardgelege in die Form gelegt und in der Vakuuminfusionstechnologie verarbeitet. Durch die maschinelle Applikation des Dämmschichtbildners auf dem Gelege kann eine einheitliche und reproduzierbare Materialschichtstärke eingestellt werden. Dies ist ein weiterer Vorteil gegenüber der Spritzapplikation der bisherigen Schutzschicht.

Auch die Brandschutzzeigenschaften dieser Beschichtung sind gut, da der Anteil an organischem Bindemittel im Vergleich mit einer vinylesterbasierten Protection-Layer-Variante auf dem so modifizierten Gelege gering ist. Wegen der effektiven Brandschutzbeschichtung kann das strukturelle Laminat mit Standardharzsystemen aufgebaut werden.

Wie bereits skizziert, wurde die entwickelte maritime Standardplatte diversen Brandprüfungen gemäß IMO-FTP-Code unterzogen, um die Brandeigenschaften des Materials zu bestätigen. Die Brandversuche wurden mit einer Trockenschichtdicke (TSD) von circa 500 µm durchgeführt, der minimal darstellbaren Beschichtungsstärke. Diese Variante bietet maximales Leichtbaupotential und ist wegen des geringen Materialeinsatzes die interessanteste Lösung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Grundsätzlich ist die TSD variabel, da die maritime Standardplatte

## Durch das neue Design reduziert sich der Tiefgang des Flusskreuzfahrtschiffs um 5 cm.

kurzfristig diverse Entscheidungen über den Aufbau der Bauteile getroffen werden, um neben den Brandschutzanforderungen auch weitere Anforderungen wie

- ▶ Leichtbau
- ▶ mechanische Performance
- ▶ Schall
- ▶ Wärmeisolation

und die Applikation der Materialien.

Eine wichtige Entwicklung bei der Herstellung der maritimen Standardplatte war die Substituierung der bisherigen Schutzschicht durch eine textile Schutzlage. Die bislang verwendete Schutzschicht ist ein vinylesterbasierter Gelcoat oder Topcoat mit hohen Brandschutzzeigenschaften. Sie ist im

TABELLE 2 Werte der Toxizitätsmessung (© Saertex)

Gas	Nr.	50 kW	25 kW mit Flamme	25 kW ohne Flamme	Soll
CO	2	762,70	254,27	111,93	1450 ppm
	3	869,70	248,81	206,94	
Mittel	–	<b>816,20</b>	<b>251,54</b>	<b>159,43</b>	
HF	2	0,00	0,29	0,00	600 ppm
	3	0,00	0,82	0,00	
Mittel	–	<b>0,00</b>	<b>0,55</b>	<b>0,00</b>	
HCl	2	0,00	0,00	0,00	600 ppm
	3	0,00	0,00	0,00	
Mittel	–	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
HCN	2	47,64	19,96	8,16	140 ppm
	3	58,77	16,95	24,70	
Mittel	–	<b>53,21</b>	<b>18,46</b>	<b>16,43</b>	
NO- NO <sub>2</sub>	2	0,00	0,00	0,00	350 ppm
	3	0,00	0,00	0,00	
Mittel	–	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
SO <sub>2</sub>	2	0,00	0,00	0,00	120 ppm
	3	0,00	0,00	0,00	
Mittel	–	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
HBR	2	1,83	1,51	0,74	600 ppm
	3	1,33	0,49	0,68	
Mittel	–	<b>1,58</b>	<b>1,00</b>	<b>0,71</b>	

modular aufgebaut ist und nach Bedarf angepasst werden kann. **Tabelle 1** zeigt exemplarische Brandergebnisse. Die Bezugsgröße für den Einsatz als Fußbodenbelag liegt bei  $D_{S,max} < 500$ , für oberste Deckbeläge bei  $< 400$  und bei Trennwänden und Auskleidungen bei  $< 200$ , wobei  $D_{S,max}$  dem Maximum der spezifischen optischen Dichte entspricht.

Bei einer Prüfintensität von 25 kW wird bereits bei einer TSD von 500  $\mu\text{m}$  die Anforderung für alle Anwendungsbereiche voll erfüllt, lediglich die Rauchentwicklung bei einer Prüfung mit 50 kW liegt leicht über den Anforderungen für die Trennwände. Bauteile für oberste Deckbeläge und Fußbodenbeläge sind bereits in dieser dünnen Schichtstärke qualifiziert. Eine leichte Erhöhung der TSD wird voraussichtlich auch die Werte bei 50 kW signifikant reduzieren, zumal der Peak bei allen Prüfungen erst zum Ende der Prüfzeit messbar war.

Die ermittelten Toxizitätswerte der Verbundwerkstoff-Platte, **Tabelle 2**, unterschreiten bei allen Messwerten deutlich die zulässigen Grenzwerte. Zur Ermittlung des Einflusses der TSD des beschichteten Textils wurden unterschiedliche Trockenschichtdicken des beschichteten Textils gemessen, **Bild 2** und **Tabelle 3**.

Die Prüfungen im Kleinbrandofen erfolgen in Anlehnung an den IMO-FTP-Code, Part 3: Prüfung von horizontalen und vertikalen Trennflächen. Die Temperaturbelastung im Ofen ist gemäß Einheitstemperatur-

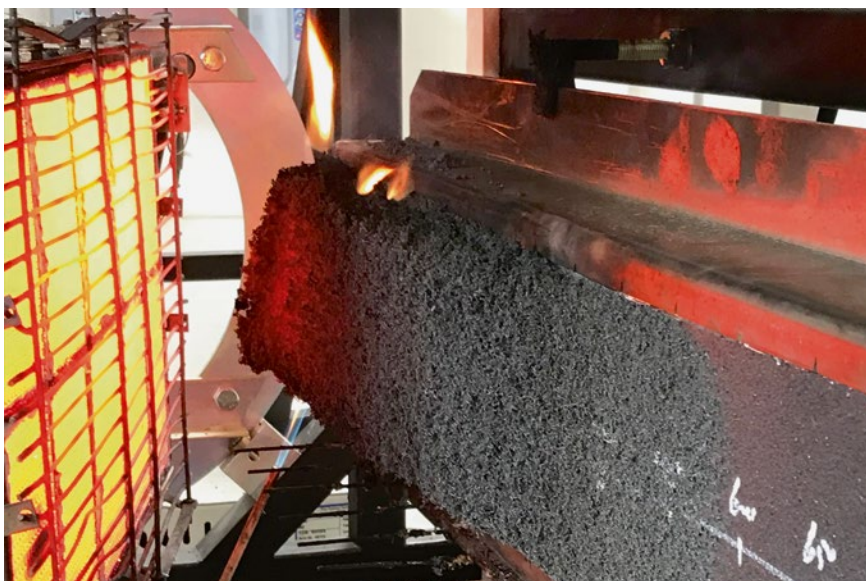


BILD 2 Prüfkörper im Brandschutztest gemäß IMO, Part 5, zur Messung der Flammausbreitung (© Saertex)

**TABELLE 3** Auftreffende Wärmestromdichte (Critical Flux at Extinguishment, CFE) an der Oberfläche eines Probekörpers in Abhängigkeit der Schichtdicke (© Saertex)

TSD [ $\mu\text{m}$ ]	CFE [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ]
500	18,25
650	24,05
800-900	27,51
1000-1100	28,90

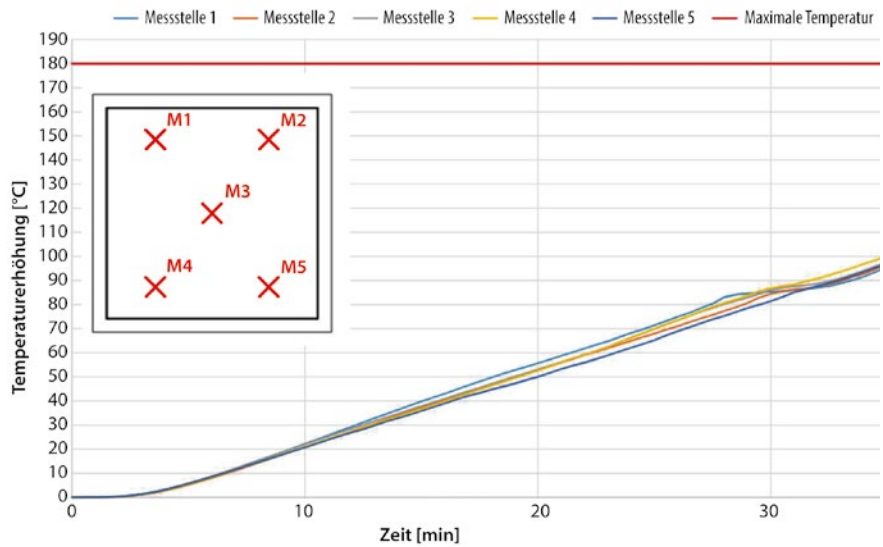
kurve (ETK) und vergleichbar mit der IMO-Prüfung. Lediglich die Größe der Prüfkörper unterscheidet sich. Je nach Anforderungsprofil (A/B/F-Klasseneinteilung) liegt die maximal erlaubte Temperaturerhöhung auf der Rückseite des Elements bei 140 beziehungsweise 180 °C.

Nach 30 min Testzeit hat das maritime Standardpanel noch eine Temperaturreserve auf der brandabgewandten Seite. Die mittlere Temperaturerhöhung bei einer TSD von circa 1100  $\mu\text{m}$  auf dem beschichteten Textil beträgt circa 85 °C. Dieses Delta wird bei einer TSD von 500  $\mu\text{m}$  bereits nach circa 20 min erreicht, Bild 3. Der Test für die Trennflächen belegt die Ergebnisse der vorherigen Brandtests. Die Brandschutzeigenschaften des Bauteils lassen sich über die gezielte Einstellung der TSD signifikant beeinflussen.

### Prüfung im Realmaßstab

Um die Performance des Materials nicht ausschließlich im Kleinmaßstab zu begutachten, wurde auch der IMO-Part-10-Test, der sogenannte Raum-Eck-Test gemäß ISO 9705, durchgeführt. Bei diesem realmaßstäblichen Test wird ein kompletter Prüfraum aus dem zu prüfenden Material aufgebaut und für 10 min mit 100 kW Brennerleistung beaufschlagt, Bild 4. Nach den ersten 10 min wird die Brennerintensität für weitere 10 min auf 300 kW erhöht.

Versagenskriterium für diesen Test ist unter anderem der Flashover. Diese signifikante Erhöhung der maximalen Wärmefreisetzungsrate kommt einem Vollbrandzenario gleich. Klassische, nicht brandgeschützte Verbundwerkstoff-Bauteile versagen in diesem Test bereits nach 2 bis 3 min, da die Intensität des Brenners mit 100 kW hoch ist und die Prüfung in einem abgeschlossenen Raum stattfindet, in dem sich die kompletten Brandgase sammeln. [1]



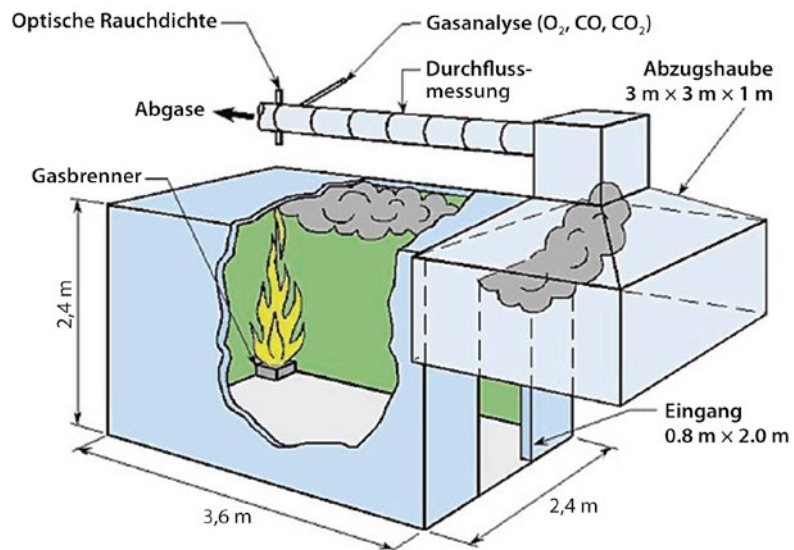
**BILD 3** Temperaturerhöhung der Bauteilrückseite im Test nach IMO, Part 3 (© Saertex)

Während der ersten 10 min der Beflammung mit 100 kW entstand keine zusätzliche Wärmefreisetzung.

Das getestete maritime Standardpanel erfüllt die Anforderungen der IMO-Part-10-Prüfung aktuell noch nicht vollständig. Über den gesamten Prüfzeitraum von 20 Min darf sich kein Flashover ergeben; im

getesteten Fall erfolgte der Flashover nach 12:15 min.

Im Vergleich zu nicht brandgeschützten Bauteilen aus Verbundwerkstoff verfügt das Panel jedoch über einen hervorragenden



**BILD 4** Schematischer Aufbau des Raum-Eck-Tests (© RI.se)

BILD 5 Wärmefreisetzung im Raum-Eck-Test (ohne Brenner) (© Saertex)

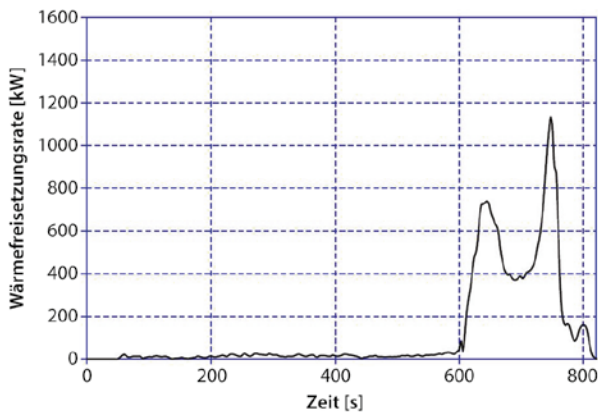
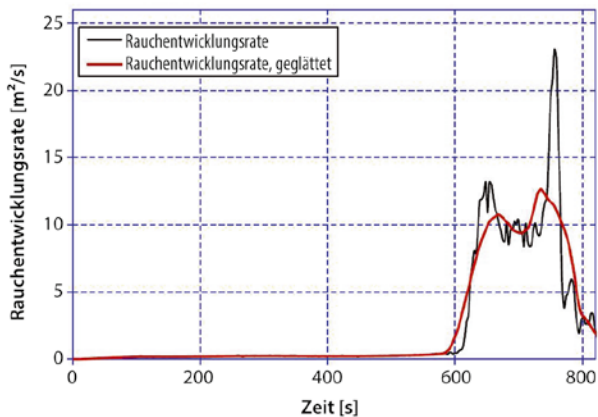


BILD 6 Rauchgasproduktion im Raum-Eck-Test (© Saertex)



Brandschutz, da innerhalb der ersten 10 min während der Beflammung mit 100 kW keine zusätzliche Wärmefreisetzung ermittelt wurde, Bild 5. Auch die Rauchgasproduktion lag innerhalb der ersten 10 min in einem nicht detektierbaren Bereich, Bild 6.

Erst nach Erhöhung der Brennerintensität auf 300 kW kam es durch die Bildung von brennbaren Gasen aus dem Laminat und dem organischen Schaumkern zu einer signifikanten zusätzlichen Wärme-

freisetzung und letztendlich zum Flashover. Das Panel kann somit bereits jetzt im militärischen Bereich ohne weitere Prüfung eingesetzt werden, da hier die Anforderungen zum Flashover 10 min betragen, Bild 7.

### Risikobasiertes Design

Für eine Einstufung als feuerhemmendes Material nach Part 10 müssen 20 min Prüf-

zeit bestanden werden. Zunächst wurde der Aufbau nur mit einer TSD von 500 µm getestet. Das Bestehen der Anforderungen mit einer höheren TSD ist realistisch, weitere Prüfungen gemäß IMO-FTP-Code, Part 10, werden bereits geplant.

Sämtliche Prüfungen wurden durchgeführt, um dem Endanwender eine breitere Datenbasis für sein maritimes Projekt zur Verfügung zu stellen und die allgemeinen Entwicklungszeiten für diese Projekte zu verkürzen. Die aufgezeigten Ergebnisse zeigen den Stand der Technik, der je nach Projekt verändert und optimiert werden kann. Erstmals sind nun Daten zugänglich, die das allgemeine Eigenschaftsprofil einer Sandwichplatte aus Verbundwerkstoff über die üblichen Verbundwerkstoffwerte wie mechanische Eigenschaften, Gewicht, Schall- und thermische Isolationsfähigkeit hinaus mit den nötigen Brandschutzeigenschaften ergänzen. Da beim Einsatz des neuen Panels keine zusätzliche Feuerbeziehungswise Wärmeisolierung benötigt wird, können Kosten, Platz und Gewicht gespart werden.

Die derzeitigen Anforderungen für Materialien in IMO-relevanten Schiffen sind durch den geforderten Nichtbrennbarkeitstest nach IMO-FTP-Code, Part 1, für Verbundwerkstoffe nicht zu bestehen. Die Materialien könnten daher nur nach Solas-Regulation 17 eingesetzt werden. Für den Einsatz von Verbundwerkstoffen ist dabei ein risikobasiertes Design nötig.

Die neu erschienene IMO-FRP-Richtlinie MSC.1/Circ.1574 ermöglicht den Einsatz von Verbundwerkstoffen in der Seeschifffahrt. Allerdings müssen auch hier alle Verbundwerkstoffteile einer Gefährdungsbeurteilung unterzogen und der Brandschutz berücksichtigt werden. Die dargestellten Erkenntnisse der Branduntersuchungen unterstützen somit die gesamte Branche in der aktuellen Diskussion um den Einsatz von Verbundwerkstoffen in maritimen Anwendungen.



BILD 7 Raum-Eck-Test nach circa 10 min Beflammung bei 100 kW (© Saertex)

### Literaturhinweise

[1] McGregor, D.; Hoyning, B.: Fire Safety of Naval Vessels made of Composite Materials: Fire Safety Philosophies, NATO RTO specialists' meeting on Fire Safety and Survivability, Aalborg, Denmark, 2002

