

FASERVERBUNDSTRUKTUREN IM BAUBEREICH

Klebstoffe ermöglichen neue Wege

Kleben als innovatives Fügeverfahren trägt auch im Baubereich dazu bei, die steigenden Anforderungen hinsichtlich Nachhaltigkeit zu erfüllen. Geklebte Brücken aus Faserverbundwerkstoffen zeigen zum Beispiel eine im Vergleich zu solchen aus Stahl oder Beton deutlich höhere Lebenserwartung. Klebstoffe helfen bei der Restaurierung von maroden Gebäudeteilen und vereinen als Fassadenelemente die Vorteile der klassischen Fassaden in einem System. Zudem ermöglichen sie neue architektonische Wege.

DR. HARTWIG LOHSE

Unter Faserverbundwerkstoffen (Composite) versteht man heute üblicherweise Materialien, die aus einer synthetischen Harzmatrix und verstärkenden Fasern (z.B. Glas-, Natur- oder Kohlefasern) aufgebaut sind /1/.

Im Vergleich zu herkömmlichen Werkstoffen zeigen Faserverbundwerkstoffe vielfältige Vorteile, sodass es nicht verwunderlich ist, dass diese modernen Systeme in der Bauindustrie vielfach Verwendung finden. Etwa ein Drittel der in 2010 europaweit produzierten rund 1000 kt glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffe finden im Baubereich Verwendung /2/. Ohne Frage haben Rotorblätter für Windkraftanlagen hieran einen beträchtlichen Anteil. Über das Kleben von Rotorblättern wurde in früheren Ausgaben der „adhäsion“ bereits ausführlich berichtet /3-7/. In diesem Beitrag soll daher beispielhaft über die klebtechnischen Aspekte von Anwendungen im Bereich der Infrastruktur, der Gebäuderestaurierung und im Fassadenbau berichtet werden.

Fügeverfahren für Faserverbundwerkstoffe

Als Folge der sprödharten Faserstruktur und des anisotropen Charakters lassen sich Faserverbundwerkstoffe nur schwierig miteinander oder mit anderen Werkstoffen verbinden. Somit ist die Wahl der Verbindungstechnik von aus-

schlaggebender Bedeutung. Aus der Vielzahl der Fügeverfahren (Bild 1) kommen prinzipiell das Kleben als stoffschlüssiges Fügeverfahren, das Schrauben bzw. Nieten als kraftschlüssiges, Bolzenverbindungen als formschlüssiges Verfahren bzw. Mischformen mit dem Kleben infrage.

Die Vorteile des Klebens sind hinlänglich bekannt. Viele Klebstoffe zeigen ohne aufwendige Vorbehandlung eine gute und dauerhafte Haftung zu den bei der Herstellung der Faserverbundwerkstoffe verwendeten Harzen, wobei jedoch Klebstoff- und Harzchemie aufeinander abgestimmt werden müssen. Bei allen Vorteilen hat Kleben jedoch den Nachteil der nicht gegebenen Sofortfestigkeit.

Hierin liegt der Vorteil der Schraub- und Nietverbindungen. Die notwendige Festigkeit für eine Weiterbe- oder -verarbeitung ist praktisch sofort erreicht. Andererseits ist zwingend das Bohren entsprechender Löcher erforderlich. Dies ist aber naturgemäß mit einer örtlichen Schädigung der Faserstruktur verbunden. Hinzu kommt die punktförmige Krafteinleitung, die für Faserverbund-

Warum Composite-Werkstoffe im Baubereich eingesetzt werden

- Geringes Gewicht
- Hohe Festigkeit
- Möglichkeit, die Bauteile hinsichtlich auftretender Belastungen maßgeschneidert zu konstruieren
- Hohe Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse und korrosive Medien und damit verbunden lange Lebenserwartung
- Geringer Instandhaltungsaufwand
- Thermische Isolation
- Antistatische Eigenschaften
- Brandverhalten
- Ästhetik, Designfreiheit

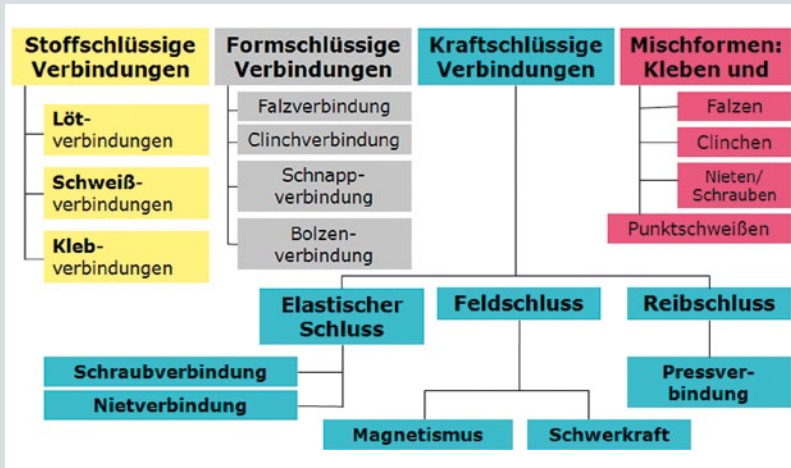


Bild 1: Systematik der Verbindungstechniken

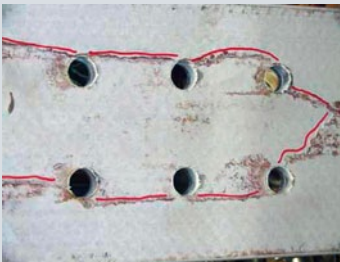


Bild 2: Blockversagen an einem verschraubten Faserverbundwerkstoff-Bauteil
(Quelle: /8/)



Bild 3: Fußgängerbrücke in Senftenberg

werkstoffe alles andere als optimal ist. Es kann, insbesondere bei Schwingungsbelastung, zu einer Aufweitung der Bohrlöcher in Schwingungsrichtung mit nachfolgendem Ausriss der Bohrlöcher oder zum Blockversagen (Bild 2) kommen. Abhilfe schaffen können z.B. eingeklebte Stahlverstärkungsbleche, d.h. eine Verteilung der auftretenden Kräfte auf eine größere Fläche, oder ebenfalls eingeklebte Kragenhülsen /8/.

Insbesondere für leichtbauoptimierte Verbindungen mit schwingenden Belastungen, bei denen aus Fertigungssicht eine schnelle Weiterver- oder -bearbeitung notwendig ist, bietet sich eine Kombination aus Kleben und mechanischer Fixierung (z.B. Schrauben) an. Man nutzt dabei die Vorteile der flächigen Kraftverteilung und vermeidet gleichzeitig lange Wartezeiten, bis der Klebstoff die zur Weiterverarbeitung des Bauteils notwendige Festigkeit erreicht hat.

Beispiel 1: Geklebte Brücke

In der „adhäsion“ wurde bereits über eine im Herbst 2001 bei Senftenberg in der Nähe von Dresden errichtete Kunststoffbrücke berichtet /9/. Sowohl die Fachwerkstruktur als auch das Brückendeck bestehen im Wesentlichen aus Pultrusionsprofilen (Bild 3).

Aufgrund der beschriebenen Problematik hatte man sich entschieden, für den Aufbau der Fachwerkstruktur eine Kombination aus Kleben und Schrauben einzusetzen. Die flächige Verbindung mittels Kleben gewährleistet die Langzeitbeständigkeit, die Schraubverbindung die sofortige Handhabungsfestigkeit.

Aufgrund der großflächigen Verklebung und der guten Möglichkeit, die einzelnen Segmente für die Zeit der Klebstoffhärtung zu fixieren, konnte für das Brückendeck Kleben als alleiniges Fügeverfahren eingesetzt werden. Hierbei wurden zunächst einzelne Profile beim Hersteller zu Sektionen verklebt.

Vorteile des Fügeverfahrens Kleben

- Kombination verschiedener Werkstoffe
- Erhalt der Werkstoffeigenschaften
 - Vermeidung von thermischen Schädigungen
 - Keine mechanische Schädigung durch Bohrlöcher
 - Weitgehende Vermeidung von Oberflächenstörungen
- Gleichmäßige Spannungsverhältnisse und flächige Kraftübertragung (erlaubt u.a. geringere Materialstärken, Gewichtsersparnis)
- Ausgleich von Fügeiteilung infolge von Temperatureinflüssen
- Integration zusätzlicher Eigenschaften
 - Dichtigkeit
 - Thermische/elektrische Leitfähigkeit bzw. Isolation
 - Schwingungs- und Schalldämpfung
 - Korrosionsschutz
 - Toleranzausgleich

Diese wurden dann auf der Baustelle miteinander und mit der Fachwerkkonstruktion verklebt.

Bei der Planung der Brücke ging man bei minimalem Instandhaltungsaufwand von einer 40-jährigen und damit im Vergleich zu herkömmlichen Stahl- oder Betonbrücken von einer doppelt so langen Lebensdauer aus. Soweit man heute, 10 Jahre nach dem Bau der Brücke, sagen kann, werden die Erwartungen sicher erfüllt, wenn nicht sogar übertroffen. Wie erwartet, sind bislang keine Schäden aufgetreten.

Die Qualität einer Klebung wird bekanntlich nicht alleine durch den Klebstoff, sondern durch eine Vielzahl von Parametern bestimmt. Um zuverlässig dauerhafte Klebungen herzustellen, bedarf es einer Abstimmung dieser Parameter untereinander; es muss „alles zueinander passen“.

Bei der Klebstoffauswahl war z.B. zu beachten, dass der Klebstoff im ausgehärteten Zustand relativ hohe Kräfte übertragen und auftretenden Schwingungsbelastungen zuverlässig standhalten muss. Aufgrund des ausgewogenen Verhältnisses zwischen Festigkeit und Dehnvermögen wurde für diese Brücke ein struktureller 2K-Polyurethanklebstoff verwendet. Auf leicht angeschliffenen Pultrusionsprofilen zeigt dieser bei Raumtemperatur, bei Minusgraden und in der Wärme gute Verbundfestigkeiten, die auch durch Feuchtigkeitsbelastung nicht signifikant beeinflusst werden. Die relativ hohe Dehnfähigkeit kompensiert in Verbindung mit der Klebschichtdicke von ca. 1 mm auftretende zyklische Belastungen. Für weitere Details bezüglich des verwendeten Klebstoffs sei auf /9/ verwiesen.

Die Qualität einer Klebung wird im Wesentlichen bestimmt durch:

- den Klebstoff, d.h. dessen
 - Art
 - Transport und Lagerbedingungen
 - Dosierung und ggf. Mischqualität
 - Auftrag auf das Bauteil
 - Aushärteverhalten und -bedingungen
- die Füge Teile, d.h. deren
 - Werkstoff
 - Oberfläche und ggf. Vorbehandlung
 - Design, Konstruktion
 - Maßhaltigkeit
 - Herstellungs-, Transport- und Lagerbedingungen
- die verwendete Anlagentechnik zum
 - Dosieren, ggf. Mischen und Applizieren des Klebstoffs
 - Teilehandling (Fügen, Fixieren)
 - Härten des Klebstoffs
 - Transport zur weiteren Bearbeitung des Bauteils
- Qualifikation des Personals, das die Klebung ausführt

Seit der Errichtung der Brücke in Senftenberg wurde in Deutschland, anderen europäischen Ländern und insbesondere in den USA eine Vielzahl weiterer Kunststoffbrücken auch für den nor-

malen Straßenverkehr errichtet. Eine Zusammenstellung mit Beschreibungen einzelner Projekte findet man in /10/. Neben 2K-PU-Klebstoffen werden auch zähelastische 2K-Epoxid- oder 2K-MMA-Klebstoffe verwendet. Welche Klebstofftechnologie bzw. welches Produkt für eine Anwendung am besten geeignet ist, bedarf im Einzelfall des Abgleichs der Klebstoffeigenschaften mit dem anwendungsspezifischen Lastenheft.

Dem Design der Klebverbindungen und somit auch der Füge Teile kommt eine besondere Bedeutung zu. Bekanntlich stellen Scher- oder Schubbelastungen die optimalen Belastungsformen für Klebungen dar. Dagegen müssen Schälbeanspruchungen und allgemein das Auftreten von Spannungsspitzen vermieden werden. Auf der anderen Seite muss durch die Füge Teilgeometrie eine der Anwendung adäquate Klebfläche und Klebschichtdicke sichergestellt sein.

Kleben des Brückendecks

Bild 4 zeigt das Brückendeck der Firma Fiberline AS. Die Dreieckform der Profile bietet nicht nur eine ausreichend große Klebfläche, sondern definiert auch den Klebspalt. Die in die Profildbasis integrierten Verlängerungen sorgen im Zusammenspiel mit der korrespondierenden Aussparung in der Profildbasis des Nachbarlements für ein defi-



Bild 4: Das Fiberline AS Brückendeck, links: schematische Darstellung, unten v.l.n.r.:

Klebstoffauftrag mittels Rakel, Entfernen überschüssigen Klebstoffs, Decksegmente fertig zur Montage (Bilder: Fiberline Composites AS)

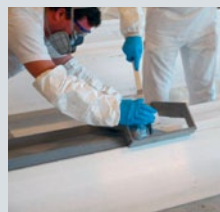
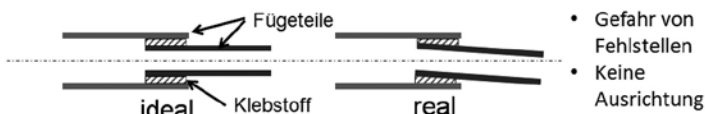


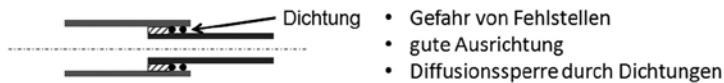


Bild 5: Fixieren der verklebten Segmente mittels Streben und Spanngurten

Nasses Längsfügen ohne Zentrierelemente



Nasses Längsfügen mit Zentrierelementen



Trockenes Längsfügen - Injektionskleben

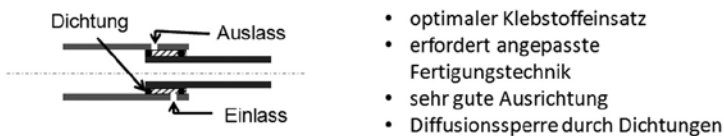


Bild 6: Steckverbindungen – Vergleich der Klebverfahren nach /11/



Bild 7: Rohrverklebung mit keilförmigem Klebspalt

niertes Spaltmaß. Der Spalt im Bereich der Profilspitzen ist von untergeordneter Bedeutung, da dieser Klebflächenmäßig deutlich kleiner ist. Durch zusätzliche, leicht in die Profile zu integrierende Abstandhalter, z.B. an den Spitzen der Profile, kann hier ein definierter Spalt sichergestellt werden.

Die Verwendung eines Rakels zum Klebstoffauftrag, wie in Bild 4 unten links gezeigt, erlaubt im Vergleich zum Auftrag mehrerer nebeneinander oder geschlängelt liegender Raupen eine wesentlich exaktere Dosierung des Klebstoffs. Die Menge von herausquellendem überschüssigen Klebstoff und daraus re-

sultierende Nacharbeit werden minimiert sowie Luftpneinschlüsse vermieden.

Die Fixierung der verklebten Profile während der Aushärtung kann im Werk bei der Vorfertigung der Decksegmente einfach durch entsprechende Fixiervorrichtungen, später auf der Baustelle durch in die Hohlräume eingelegte Streben und Spanngurte erfolgen (Bild 5).

Kleben der Fachwerkstruktur

Bei der Herstellung von Steckverbindungen mittels Klebstoffen unterscheidet man zwischen dem sogenannten „nassen Längsfügen“, bei dem der Klebstoff vor dem Fügen auf eines der Fügeteile aufgetragen wird und dem „trockenen Längsfügen“, bei dem die beiden Fügeteile zunächst ohne Klebstoff gefügt werden und der Klebstoff anschließend über eine Injektionsöffnung in den Klebspalt eingebracht wird (Bild 6). Um die notwendige definierte Ausrichtung der Profile und einen definierten Spalt zu gewährleisten, ist eine Zentrierung (z.B. durch zusätzliche Verschraubungen), die Fixierung an einer Hilfskonstruktionen oder die Verwendung von Dichtringen (z.B. O-Ringe) notwendig. Letztere wirken gleichzeitig als Dichtung und verhindern das Herauslaufen von Klebstoff sowie das Eindringen von Feuchtigkeit.

Beim nassen Längsfügen besteht grundsätzlich die Gefahr, dass es zu einem partiellen Abstreifen von Klebstoff und somit zu Fehlstellen in der Klebfuge kommt. Dieser Gefahr kann durch eine keilförmige Ausbildung des Klebspaltes entgegengewirkt werden (Bild 7). Dieses Verfahren, bei dem das innenliegende Rohr zunächst auf Länge geschnitten, dann im Bereich der Klebfläche keilförmig angeschliffen, gereinigt und nach dem Klebstoffauftrag in den Fitting eingeschoben wird, hat sich bei der Verklebung von GFK-Rohren z.B. im Chemieanlagenbau, bei Abwasserbehandlungsanlagen, im Off-Shore-Bereich und im Schiffbau bewährt.

Prinzipiell besteht jedoch auch hier die Gefahr einer ungenügenden Ausrichtung der Profile. Eine Korrektur muss noch vor Ablauf der Topfzeit des Klebstoffs erfolgen, um eine Schädigung der Klebung zu vermeiden. Nach Aushärtung ist eine Korrektur nur bedingt möglich und führt zu einer ständigen statischen Belastung der Klebung.

Beim sogenannten Injektionskleben erfolgt das Fügen zunächst „trocken“, d.h. ohne Klebstoff. Dieser wird nachträglich über eine im Profil angebrachte Bohrung von unten gegen die Schwerkraft unter leichtem Druck injiziert. Hierzu können handelsübliche Kartuschenpistolen und wie in /11, 13/ und /14/ beschrieben, an die jeweilige Rohrgeometrie angepasste Applikationseinheiten verwendet werden. Sobald an der gegenüberliegenden Entlüftungsbohrung Klebstoff austritt, kann bei Verwendung eines entsprechend fließfähigen Klebstoffs davon ausgegangen werden, dass der Klebspalt vollständig gefüllt ist /11/.

Bei runden Profilen lässt sich die gleichmäßige Verteilung des Klebstoffs durch eine Rotationsbewegung eines der beiden zu verbindenden Rohre während der Klebstoffinjektion weiter unterstützen, sodass auch mit relativ hochviskosen Klebstoffen Verbindungen mit dünnen Klebspalten im Bereich von 0,05 - 0,1 mm sicher realisiert werden können /14/. Diese Technik wurde bei der Errichtung der 52 m hohen Mae West Skulptur auf dem Münchner Effnerplatz (siehe Titelbild) angewendet.

Das Injektionskleben unter Verwendung von Dichtringen erlaubt die Herstellung optisch und ästhetisch ansprechender Verbindungen ohne zusätzliche Unterstützung durch Schrauben. Damit verbunden sind weitere Vorteile. Mittels Hinterschneidungen sind sowohl formals auch stoffschlüssige Verbindungen realisierbar und es können schnell härtende 2K-Klebstoffe verwendet werden.



Bild 8: Restaurierung von Deckenträgern unter Einsatz von GFRK-Profilen
(Bild: Fiberline Composites AS)

Die Länge der offenen Zeit wird nur noch durch die für die Injektion des Klebstoffs benötigte Zeit bestimmt. Das Fügen und die Ausrichtung der Bauteile erfolgt vorher, muss also nicht mit berücksichtigt werden. Das Verfahren könnte die schon für Industrieanlagen genutzten Vorteile der Faserverbundwerkstoffe auch für andere Bereiche, bei denen ästhetisch anspruchsvolle Geländer zu erstellen sind, nutzbar machen.

Beispiel 2: Restaurierung von Stuckdecken mit GFRK

Faserverbundwerkstoffe haben sich in Verbindung mit der Klebtechnik, wie das Beispiel Schloss Wörlitz zeigt, auch bei der Restaurierung historischer Bauten als Problemlöser bewährt. Die hölzernen Deckenbalken zeigten an den Stellen, an denen sie in das Mauerwerk eingelassen waren, eine massive Schädigung durch Kondenswasserbildung, sodass einzelne Gebäudeteile einsturzgefährdet waren. Um die wertvollen Stuckdecken zu erhalten, mussten die Deckenträger zumindest partiell erneuert werden. Aufgrund der räumlichen Verhältnisse war es nicht möglich, neue Holzträger einzubringen und Stahlträger schieben wegen der Bildung von Kältebrücken aus. Nach Entfernen der morschen Holzteile wurden daher GFRK-Profile mit den gesunden Trägerteilen verklebt und verschraubt (Bild 8). Dies

ermöglichte eine schonende und wirtschaftlich akzeptable Restaurierung ohne den sonst notwendig gewordenen Einsatz von schwerem Hebegerät.

Neben einer guten Haftung zu den GFRK-Profilen muss der verwendete Klebstoff auch eine dauerhafte Verbindung zu den vorhandenen Holzträgern eingehen, eine entsprechende Feuchtigkeitsbeständigkeit aufweisen und in seinen Verarbeitungseigenschaften den Anforderungen einer Baustelle genügen. Verwendet wurde ein thixotropes hochmoduliges 2K-Epoxid-System mit einer relativ langen Verarbeitungszeit von 90 Minuten bei 20 °C, der aber auch noch bei Temperaturen bis zu 8 bzw. 35 °C (natürlich mit einem entsprechenden Effekt auf die Topfzeit und die Aushärtegeschwindigkeit) verarbeitet werden kann. Die bereits für andere Anwendungen erteilte DIBT-Zulassung erleichterte die erforderliche bauamtliche Zulassung für diese Anwendung. Nach der Restaurierung durchgeführte Messungen des zuständigen Materialprüfungsamtes bescheinigten den Decken die erforderliche Tragfähigkeit /15/.

Beispiel 3: Kleben von Fassadenelementen

Fassadenelemente auf Basis von Faserverbundwerkstoffen vereinen praktisch alle positiven Eigenschaften bisheriger Fassaden in einem System



Bild 9: Transluzente Composite-Fassadenelemente am Betriebszentrum der Gemeinde Leudelange (Bild: Butzbach GmbH)



Bild 10: Belastungsprobe an einem realen Fassadenelement (Bild: Butzbach GmbH)

und haben wesentlich zu der bestehenden innovativen Architektur des Betriebszentrums der Luxemburgischen Gemeinde Leudelange beigetragen (Bild 9). Die hohe Transluzenz der eingesetzten Fassadenelemente lässt einerseits das Tageslicht weit ins Rauminnere gelangen, andererseits be-

stimmen die hinterleuchteten Flächen das nächtliche Erscheinungsbild. Hinzu kommt, dass die verwendeten Fassadenelemente mit einem U_g -Wert von bis zu $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ eine sehr gute Wärmedämmung aufweisen und in ihrem Energiedurchlassgrad einer Sonnenschutzverglasung nahekommen.

Um den bei derart großen Fassadenelementen (Höhe 10 m) auftretenden hohen Windlasten ohne Schaden standzuhalten, war es notwendig, die als Doppelstegplatten konstruierten Elemente mit einem umlaufenden U-Profil aus Aluminium zu versteifen. Für das Verbinden des Rahmens mit der Doppelstegplatte ist das Kleben geradezu prädestiniert. Die Krafteinleitung erfolgt flächig, Spannungsspitzen werden vermieden, Bohrungen für Schrauben oder Nieten sind nicht notwendig und die Klebung verhindert zuverlässig das Eindringen von Feuchtigkeit. Für die Herstellung der Stegplatten wurde ein in seinem thermischen Ausdehnungsverhalten auf die Aluminiumprofile abgestimmtes Harzsystem verwendet. Trotzdem kann es aufgrund von unterschiedlichen Aufheiz- oder Abkühlgeschwindigkeiten zu Unterschieden in der thermischen Längenausdehnung kommen, was gerade bei derart großen Bauteilen zu erheblichen Kräften führt. Es musste also ein Klebstoff mit einem hohen Dehnvermögen in einer entsprechenden Klebschichtdicke eingesetzt werden. Bei der Klebstoffauswahl galt es ebenfalls zu berücksichtigen, dass die Fassadenelemente durch eine spezielle Oberflächenveredelung dauerhaft gegen Witterungseinflüsse geschützt sind. Diese Oberflächenbeschichtung darf die Klebfestigkeit natürlich nicht negativ beeinflussen. Realisiert wurde das Projekt mittels eines niedrig-moduligen, elastischen 1K-feuchtigkeitshärtenden Klebstoffsystems.

Die im Rahmen der Verfahrensentwicklung im Labor durchgeführten Versuche wurden an Versuchen an realen Bauteilen durch Belastung mit Stahlrohlingen bestätigt. Wie Bild 10 zeigt, wurde ein Fassadenelement mit einer Stärke von 150 mm in einer Art Dreipunkt-Biegeversuch geprüft. Der Auflager-Abstand beträgt 9 m, die aufliegende Last liegt bei ca. $3,5 \text{ kN/m}^2$. Ohne

Einsatz der Klebtechnik versagt ein Element dieser Größe bei etwa $\frac{2}{3}$ der aufliegenden Last /16/.

Zusammenfassung und Ausblick

Nicht nur die in letzter Zeit zahlreichen Veröffentlichungen zu neuen An-

wendungen von Faserverbundwerkstoffen im Baubereich /18-20/, sondern auch das große Interesse und die rege Beteiligung an einer Diskussion auf der Internetplattform LinkedIn über Brücken aus Faserverbundwerkstoffen und die Ankündigung der WG4 im CEN/TC250, sich im Rahmen der

Eurocode-Aktivitäten mit der Erstellung einer Bemessungsregel für Kunststoffbrücken befassen zu wollen /21/, macht deutlich, dass Faserverbundwerkstoffe und somit auch die Klebtechnik im Baubereich neue Anwendungen finden und an Bedeutung gewinnen werden. ■

Der Autor

Quellenverweis

Dr. Hartwig Lohse (Tel.: 04822 95180, hlohse@hdyg.de, www.how-do-you-glue.de) ist Inhaber des unabhängigen Beratungsunternehmens Klebtechnik Dr. Hartwig Lohse e.K.

/1/ www.de.wikipedia.org/wiki/Faserverbundwerkstoff

/2/ E. Witten, Faserverstärkte Kunststoffe – Marktentwicklung, Einsatzmöglichkeiten und Trends, 2.

AVK Fachtagung Faserverstärkte Kunststoffe im Bausektor, Frankfurt 09.11.2011

/3/ Adäsion kleben & dichten Ausgabe 10/2011, S. 28

/4/ F. Sayer, F. Kleiner, Adhäsion kleben & dichten Ausgabe 6/2011, S. 16

/5/ U. Tartler, Adhäsion kleben & dichten Ausgabe 12/2010, S. 28

/6/ M. Gansow, Adhäsion kleben & dichten Ausgabe 06/2010, S. 28

/7/ C. Nagel, M. Brede, Adhäsion kleben & dichten Ausgabe 06/2009, S. 38

/8/ G. Sedlacek et. Al., Geklebte Verbindungen im Stahlbau, 5. Klebkolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik, Frankfurt, 15./16.02.2005

/9/ A. Donner, H. Lohse, Adhäsion kleben & dichten Ausgabe 1-2 2002, S. 10

/10/ Pawel B. Potyrala, Use of Fiber Reinforced Polymer Composite in Bridge Construction, Diplomarbeit Universitat Politècnica de Catalunya

/11/ M. Siebert, M. Schlimmer, Prozesssicheres Kleben von Rundsteckverbindungen aus metallischen Werkstoffen unter rauen Fertigungsbedingungen, 5. Klebkolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik, Frankfurt, 15./16.02.2005

/12/ M. Siebert, EP 1 553 311 A2

/13/ M. Schlimmer, M. Siebert EP 1 552 906 A2

/14/ J. Ridzewski, L. Kästner, DE 103 48 820 B3 2004.08.26

/15/ Priv. Mitteilung: S. Wischnewski, Fiberline Composites A/S

/16/ Priv. Mitteilung: M. Neumann, Butzbach GmbH, Industrietore

/17/ Reinforced Plastics, July/August 2011, S. 7

/18/ Reinforced Plastics, July/August 2011, S. 16

/19/ Reinforced Plastics, July/August 2011, S. 18ff

/20/ <http://www.reinforcedplastics.com/view/8898/composites-clad-sheaton-hotel-milan/>

/21/ Priv. Mitteilung: A. Verheus, Lightweight Structures B.V.



DOMOTEX 2012 – 14.-17.01.2012 - Halle 7, Stand A06/1

