

## **Kleben als Innovatives Fügeverfahren im Brückenbau**

Andreas Donner  
Domus GmbH  
Göllnitz

Dr. Hartwig Lohse  
Ashland-Drew Ameroid  
Deutschland GmbH  
Itzehoe

### **Einleitung**

Das Kleben, als wohl ältestes Fügeverfahren der Menschheit hat sich in vielen Anwendungsbereichen bewährt. Auch im Baubereich ist es, wenn nicht die älteste, so doch zumindest eine der ältesten Methoden zur Verbindung von einzelnen Bauteilen. Mit Mörtel werden seit eh und je Steine zu einer Mauer zusammengeklebt. Die Verwendung von Klebstoffen auf Basis organischer Grundstoffe, die sich, wie aus den vorhergehenden Vorträgen bekannt, z.B. in der Automobilindustrie etabliert und in vielen anderen Bereichen darüber hinaus als echter Problemlöser herausgestellt haben, ist im Baubereich noch wenig etabliert. Der Baubereich ist, was innovative Technologien angeht, historisch bedingt sehr konservativ. Dies hat, zumindest zum Teil seine Ursache in einem Umfassenden Regelwerk, daß auf den Codex Hammurabi von ca. 1750 v. Chr. zurückgeht. Danach wurde der Baumeister mit dem Tode bestraft, wenn der Bauherr durch dessen Bauten zu Tode kam, oder er mußte dem Bauherrn mit seinen Gütern einen Ausgleich schaffen, wenn er dem Bauherrn materielle Schäden zugefügt hatte. Daß Baumeister bei Androhung solcher Strafen entsprechend vorsichtig arbeiten, ist nur allzu verständlich; es werden nur handwerklich gewachsene und bewährte Technologien eingesetzt und neue Technologien müssen ihre Zuverlässigkeit erst beweisen.

Organische Klebstoffe haben sich u.a. bei der Herstellung von Fensterrahmen mit Holzleimen, im konstruktiven Holzbau, bei der Herstellung von Isolierglas und beim Einkleben von Dübeln im Industriebau etabliert und ihre Leistungsfähigkeit bewiesen.

Im Verlauf dieses Vortrages soll nun gezeigt werden, daß die zukunftsweisende Technologie des strukturellen Klebens im Zusammenwirken mit der Verwendung des Werkstoffs Kunststoff, insbesondere bei der Reparatur von Brücken einen Beitrag zur Energieeinsparung liefern kann. Die Reparaturzeiten und somit die Zeiten potentieller Staus, mit den damit verbundenen Kosten (Energie, Zeit, ...) und nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt könnten im Vergleich zur herkömmlichen Technologie deutlich reduziert werden.

### **Klebanwendung am Praktischen Beispiel einer Kunststoffbrücke**

Die bekannten Vorteile der Klebtechnologie

- Gleichmäßige, flächige Krafteinleitung
- Verbindung auch unterschiedlicher Werkstoffe

- Spaltüberbrückung, Toleranzausgleich
- Gute Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse
- Gute Scher- Schwingungs-, Schock- und Dauerbeständigkeit

wurden dann auch bei der Konstruktion und dem Bau einer Brücke im Rahmen eines kombinierten Rad- und Wanderwegenetzes in der Niederlausitz im Bundesland Brandenburg genutzt. Bei dieser Brücke wurden pultrudierte GFK-Bauelemente, zum einen für die Fachwerkkonstruktion und zum anderen für das Brückendeck selbst verwendet und durch Kleben miteinander verbunden (vgl. Abb. 1)

Das Prinzip der Herstellung von Pultrusionselementen, wie sie u.a. für den Brückenbau verwendet werden ist in Abb. 2 dargestellt. Hierbei werden, die mit Harz getränkten Glasfaserendlosstränge kontinuierlich durch eine beheizte Düse mit dem gewünschten Profil gezogen, wobei neben der Formgebung die Aushärtung erfolgt. Die so erzeugten Endlosprofile werden dann auf die jeweils benötigte Länge zugeschnitten.

Für die Fachwerkkonstruktion wurden Kastenprofile mit einem Querschnitt von 100 x 200 mm verwendet, die über sogenannte Knotenelemente miteinander verbunden sind. In diesen Knoten befinden sich T-förmige Verbindungselemente aus verzinktem Stahl, die mit den Pultrusionselementen verklebt und verschraubt wurden (vgl. Abb. 3). Die Bolzen dienen hierbei hauptsächlich der Fixierung während der Klebstoffaushärtung, um Relativbewegungen der Bauteile gegeneinander in der Phase der Klebstoffhärtung zu verhindern. Große Sorgfalt wurde auf die Vorbehandlung der zu verklebenden Oberflächen (GFK: Schleifen und Reinigen, Stahl: Entfetten) und die exakte Ausrichtung der Bauteile verwandt. Nach Aushärtung der Klebstellen wurden die Fachwerke aufgerichtet (Abb. 4) und die Montage des Brückendecks aus vorgefertigten Superdeck™-Elementen vorgenommen.

Bei dem Superdeck™ handelt es sich um ein selbsttragendes Kunststoffdeck, aufgebaut aus Pultrusionselementen (Abb. 5). Die X-förmigen, bzw. sechseckigen Profile werden bereits im Herstellerwerk zu vorgefertigten, leicht zu handhabenden Elementen derart verklebt, daß eine, der Bienenwabe ähnliche, sehr stabile Struktur entsteht (Abb. 6). Weiterhin wird schon hier die Verschleißschicht aus Polymerbeton aufgebracht. Die Abmessungen der werkseitig vorgefertigten Superdeck™-Elemente richtet sich in erster Linie nach den Abmessungen der Brücke wobei aber auch deren Handbarkeit berücksichtigt wird. Die in Senftenberg verwendeten Elemente entsprechen in ihrer Breite der Breite der Brücke von ca. 2.1 m und waren etwa 1 m lang.

Für die Montage der vorgefertigten Superdeck™-Elemente auf die Tragstruktur des Fachwerks wird, aufgrund ihres geringen Gewichts nur leichtes Gerät benötigt. Die Elemente wurden sowohl untereinander, analog der Herstellung der Elemente selbst, als auch mit der Auflage, in diesem Fall der Fachwerkkonstruktion verklebt (Abb. 8). Auch hier wurden die Klebflächen wiederum durch sorgfältiges Schleifen und Reinigen vorbehandelt. Die Fixierung erfolgte mittels Spanngurten (Abb. 9).

Nach Abschluß der Vormontage und der vollständigen Aushärtung des Klebstoffs wurde die Brückenkonstruktion, deren Eigengewicht bei einer Länge von 20 m und einer Breite

von 2.1 m nicht einmal 10 t beträgt per Kran und Tieflader an ihren endgültigen Bestimmungsort gebracht und auf den vorbereiteten Fundamenten befestigt (Abb. 10).

Bei der offiziellen Übergabe der Brücke an die Bevölkerung am 22. April diesen Jahres, u.a. durch den Landrat des Kreises Oberspreewald-Lausitz wurde das Bauwerk als richtungsweisend für weitere Brückenbaumaßnahmen im Kreisgebiet gewürdigt

### **Klebstoffauswahl, -prüfung und -eigenschaften**

Bei einem Vergleich der verschiedenen am Markt befindlichen Strukturklebstoffen hinsichtlich Festigkeitsniveau und Elastizität/Dehnung zeichnen sich die Polyurethane gegenüber den Epoxiden, Acrylaten und Phenolharzen durch ein hohes Festigkeitsniveau in Kombination mit einer guten Elastizität aus. Diese Kombination der Eigenschaften, in Verbindung mit der Möglichkeit der Aushärtung unter 'Baustellenbedingungen', d.h. unter Normaldruck bei Temperaturen im Bereich 15 – 30 °C, läßt 2-komponentige Polyuretanklebstoffe für diese Aufgabe als besonders geeignet erscheinen. Hinzu kam, daß der verwendete Klebstoff PLIOGRIP® bereits bei ähnlichen Projekten in den USA erfolgreich eingesetzt wurde und somit neben Labordaten auch Erfahrungen aus der Praxis vorlagen.

Es handelt sich um ein 2-komponenten Polyurethan System mit, an den jeweiligen Anwendungsfall angepasster offener Zeit (zum Einsatz kam eine Version mit 30 Minuten) und Verfügbarkeit in Gebinden verschiedener Größe, so daß es sowohl für die industrielle Vorfertigung der Superdeck™-Elemente, als auch für die Anwendung auf der Baustelle geeignet ist. Das Mischungsverhältnis von 1:1 (volumenbezogen), die praktisch gleichen Viskositäten der beiden Einzelkomponenten und deren unterschiedliche Einfärbung bieten ein Höchstmaß an Sicherheit bei der Verarbeitung. Die Mechanischen Eigenschaften des ausgehärteten Klebstoffs (Zugfestigkeit 21 MPa, Reißdehnung 50 %, E-Modul 620 MPa, Wasseraufnahme < 1 %, vernachlässigbarer Härtingschumpf) unterstreichen die Eignung für eine solche Aufgabe. Selbstverständlich wurde auch das Alterungsverhalten des Klebstoffsystems untersucht, die Abb. 11 und 12 zeigen dieses für verschiedene GFK-GFK- und Metall-Metall-Verklebungen.

Neben der statischen Alterung wurde die Dauerschwingfestigkeit, sowohl an Laborprüfkörpern, als auch an Superdeck™-Elementen geprüft. Die Abb. 12 zeigt die Wöhler-Linie für den verwendeten Klebstoff, ermittelt bei einer Frequenz von 5 Hz. Im Kraftbereich von 0.4 bis 3.5 MPa wurden 10 Millionen Lastwechsel unbeschadet überstanden. Diese positiven Ergebnisse wurden auch an Prüfungen an Superdeck™-Elementen in den USA bestätigt. In einer Art überdimensionalem schwingenden Dreipunkt-Biegeversuch (Spannweite des Superdeck™-Elements 2.7 m, Kraftstempel 25 x 50 cm, Kraftbereich 1 bis 16 t, Testfrequenz 3 Hz) wurde alle 500,000 Zyklen die resultierende Durchbiegung ermittelt und nach 2 Millionen Lastwechseln die Resttragfähigkeit ermittelt. Es wurde ein Anstieg der Durchbiegung und eine Abnahme der Resttragfähigkeit um jeweils weniger als 4 % ermittelt. Weitere umfangreiche Prüfungen wurden in den USA u.a. durch das Highway Innovative Technology Evaluation Center (HITEC) durchgeführt.

Diese Untersuchungen, sowie die Erfahrungen, die man mittlerweile aus den ersten Brückeninstallationen von 1997 in den USA gewonnen hat, werden z.Z. durch das Bundesamt für das Straßenwesen mit Unterstützung von Forschungseinrichtungen auf Ihre Übertragbarkeit auf die deutschen Gegebenheiten untersucht. Ziel ist es die beschriebene Technologie für die Reparatur bestehender Brücken einzusetzen. In der Reparatur bestehender Brücken liegt sicherlich auch das Hauptanwendungsgebiet für die Zukunft.

Laut einer Berechnung des DIHT von 1996 stellen Brücken ein besonderes Problem in der bundesdeutschen Infrastruktur dar. Im westdeutschen Bundesfernstraßennetz gab es 1996 35.000 Brücken mit einem hohen Erhaltungsaufwand, wobei das Volumen an Erhaltungsmitteln jährlich um 300 Millionen DM unterschritten wird. Für die neuen Bundesländer sieht es, ohne daß genau Zahlen vorliegen noch drastischer aus. Während 1990 im Westen ‚nur‘ etwa 1/3 der Brücken älter als 30 Jahre war, so stammen im Osten noch etwa 60 % aus der Zeit vor dem 2. Weltkrieg.

Es ist allgemein bekannt, daß Brückenbaustellen sehr zeitaufwendig sind und damit die eingangs genannten negativen Energie- und Umwelteffekte der, aus den Bauarbeiten resultierenden Staus immens sind. Die Vorteile der Kunststoffbrücken-Technologie:

- Gewichtersparnis durch Verwendung von Leichtbauwerkstoffen
  - verringerter Aufwand für das Fundament
  - höhere Tragfähigkeit bei gleicher Fundamentauslegung
  - Einsatz ‚leichterer‘ Baumaschinen
- Verwendung von vorgefertigten Bauteilen
  - verkürzte Bauzeit/Reparaturzeit
  - verringerte Verkehrsbeeinträchtigung bei Reparatur bestehender Brücken
- Erhöhte Lebenserwartung durch nicht korrodierende Werkstoffe
- Beton: ca. 20 - 30 Jahre
- Kunststoff > 50 Jahre
- Kostenneutralität bei Berücksichtigung aller Faktoren.

legen in der Tat nahe, die beschriebene Technologie weiter zu forcieren und auf den Europäischen Raum zu übertragen.

Zum Abschluß soll die Leistungsfähigkeit am Beispiel der Reparatur der ‚Market Street Bridge‘ in Wheeling West Virginia, USA (Abb. 12) unterstrichen werden. Hier wurde ein, aus 44 Modulen von jeweils 8.5 x 2.4 m bestehendes Brückendeck (insgesamt 58 x 17 m) innerhalb von 14 Stunden auf die bestehende, lediglich restaurierte Stahl-Unterkonstruktion verlegt. Es bleibt, nicht nur vor dem Hintergrund der Staureduzierung zu hoffen, daß diese Technologie auch in Europa zügig etabliert werden kann.

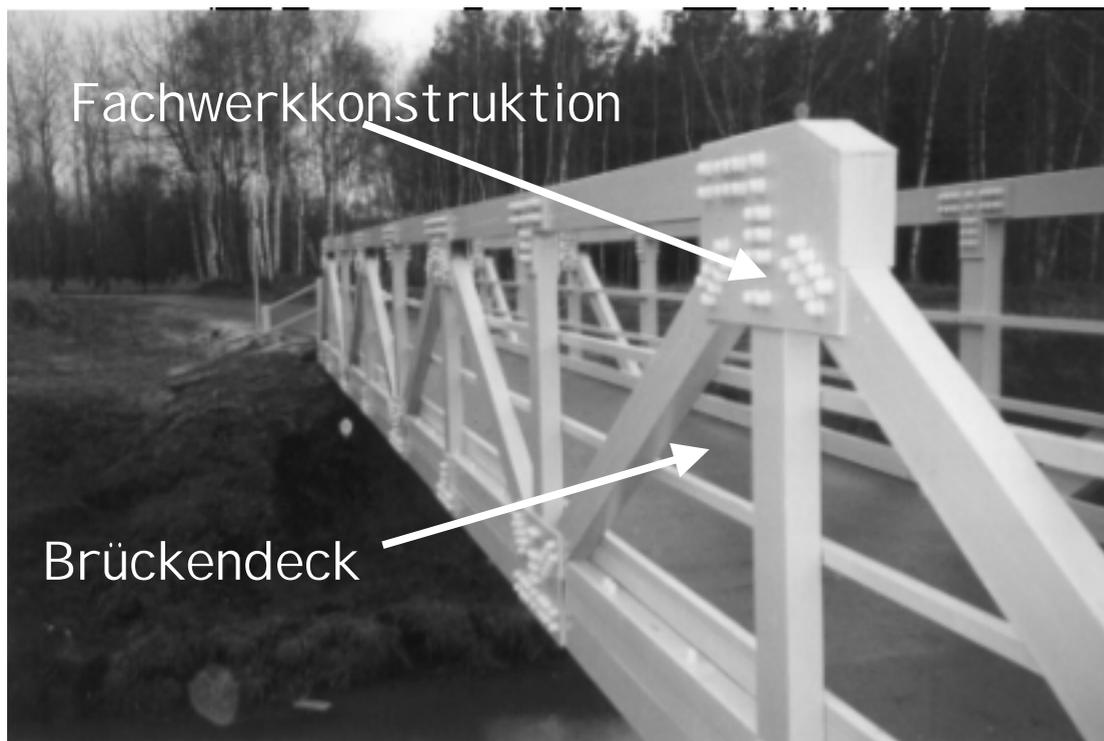


Abb. 1 Aufbau der Brücke in Senftenberg

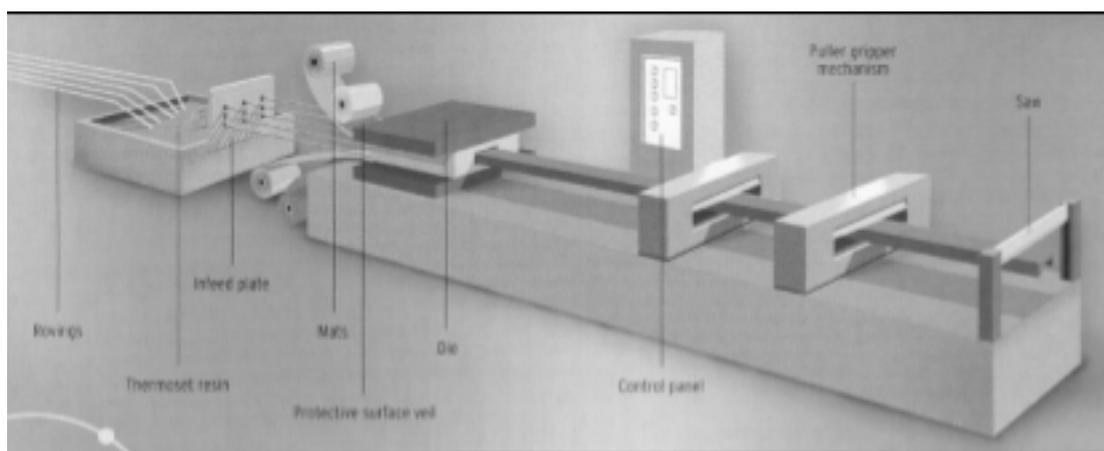


Abb. 2 Herstellung von Pultrusionselementen



Abb. 3: Klebstoffauftrag und Fügen der Knotenelemente



Abb. 4: Aufrichten der fertiggestellten Fachwerke

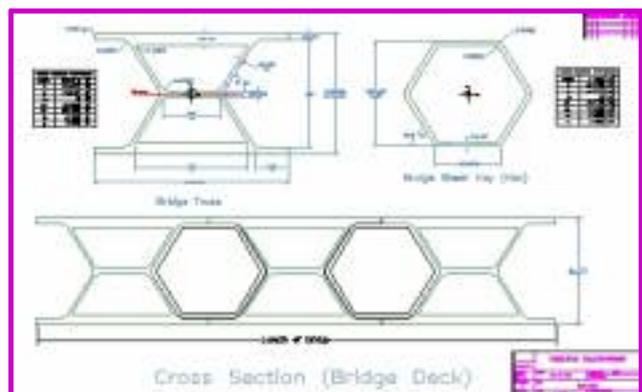


Abb. 5: Querschnitt durch das Superdeck™



Abb. 6: Herstellung der Superdeck™ -Elemente im Werk



Abb. 7: Einschweben der Superdeck™ -Elemente

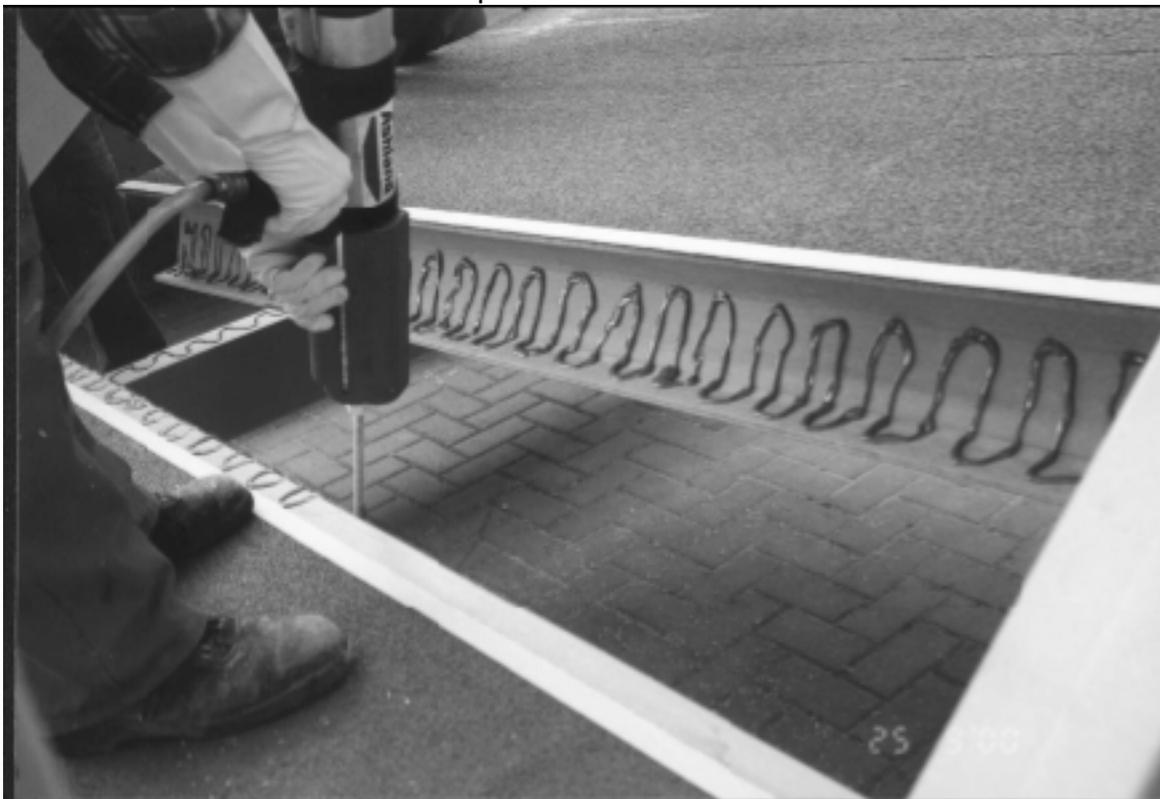


Abb. 8: Klebstoffauftrag vor dem Verkleben der Superdeck™ -Elemente



Abb. 9: Fixieren der verklebten Superdeck™ -Elemente



Abb. 10: Transport der Brücke an ihren endgültigen Bestimmungsort

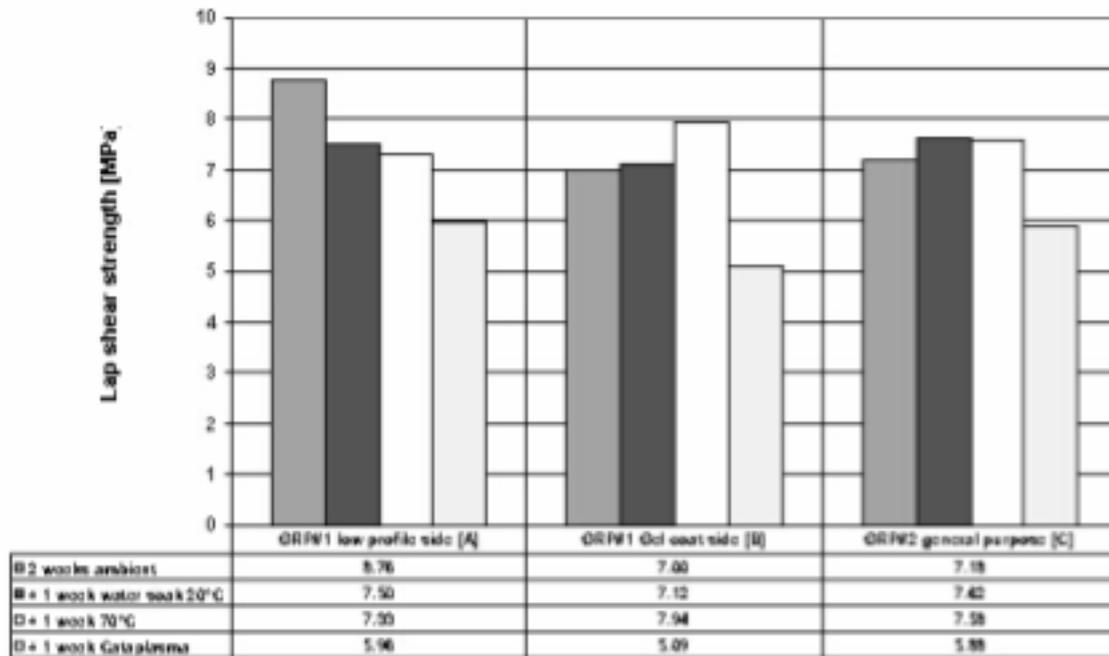


Abb. 11 Alterungsverhalten von mit PLIOGRIP® geklebten GFK Prüfkörpern

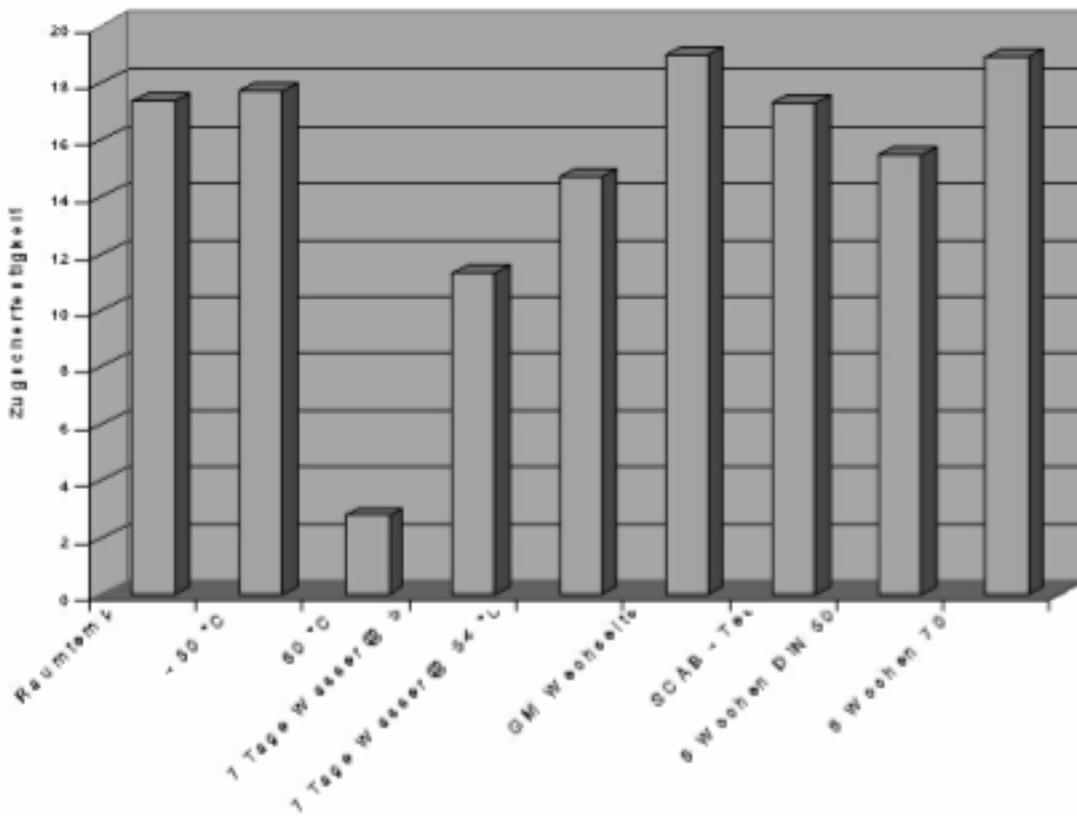


Abb. 12 Alterungsverhalten von mit PLIOGRIP® geklebten Metallprüfkörpern

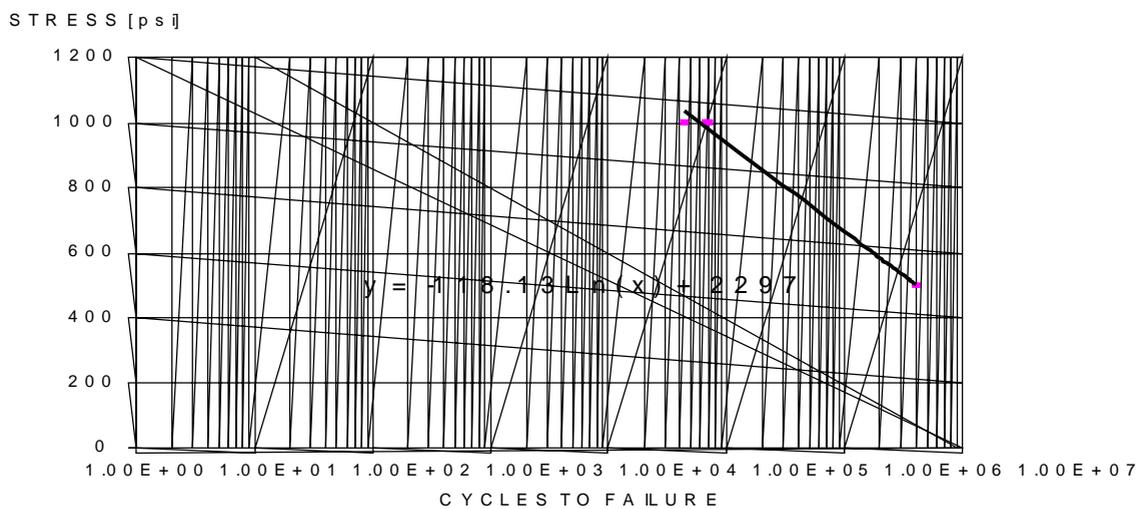


Abb. 13 Wöhler-Linie des verwendeten Klebstoffs



Abb. 14      Brückenreparatur am Beispiel der 'Market Street Bridge' in Wheeling, West Virginia, USA