

# Nicht-metallische Reparatursysteme für Rohre- und Rohrleitungen

## Non-Metallic Composite Repair Systems for Pipes and Pipelines

Von Thomas Rehberg und Michael Schad

*Konventionell werden mechanische Schäden an Rohrleitungen, die im Rahmen von Arbeiten an einer Leitung oder als Ergebnis einer intelligenten Molchung festgestellt wurden, durch Austausch von metallischen Rohrstücken oder Aufschweißen von Kugelkappen repariert. Seit etwa 15–20 Jahren werden für diesen Einsatzzweck moderne Verbundstoffe eingesetzt, deren Trägergewebe aus Carbon, Kevlar oder Glasfasern bestehen, die mit Harzen mechanisch verstärkt werden. Der Beitrag berichtet über Erfahrungen mit einem dieser modernen Reparatursysteme.*

*“Traditionally mechanical defects on pipelines, which were detected either by working on the line or as a result of intelligent pigging, will be repaired by replacing the defected areas with metallic pipe segments or welding of spherical caps. Since 15-20 years so called composite repair systems have been used in this field of pipeline business, too. Their backing fabrics consist of Carbon, Kevlar or Fiberglass fibres, which are reinforced with resins. This article reports about the experiences made with one of these state-of-the-art repair systems.”*

Besonders die Kohlenstofffasern gehören heute zu den High-Tech-Werkstoffen, die sich aufgrund ihrer hohen Zugfestigkeit immer weitere Einsatzbereiche erschließen. So verwendet man im modernen Flugzeubau (z. B. Airbus A 380 und Boeing 787) beim Bau der Leitwerke und Tragflächen Kohlenstofffasern. Im Rennsport bestehen die Chassis aufgrund des geringen Gewichts und der hohen Zugfestigkeit dieser Fasern überwiegend aus Carbon. In allen Bereichen, in denen die Verbindung von leichtem Gewicht bei gleichzeitiger hoher mechanischer Belastbarkeit eine dominierende Rolle spielen, haben sich Kohlenstofffasern etabliert ( u.a. in so unterschiedlichen Bereichen wie der Herstellung von Tennisschlägern oder beim Bau von Kommunikationssatelliten).

Auch bei der Reparatur von Pipelines wird der Verbund-Werkstoff Carbon in einer Harzmatrix seit einigen Jahren mit Erfolg eingesetzt.

### Einsatz von Laminat- oder Verbundsystemen

Die meisten dieser Systeme können in zwei Kategorien eingestuft werden:

- nass aufgebrachte Laminiersysteme (In-situ Komposit)
- bereits bei der Herstellung vorgehärtete Schlauchsysteme

Die nass aufgetragenen Laminatsysteme werden vor Ort getränkt oder gemischt und härten nach der Anwendung auf dem Rohr aus [1].

Neben Epoxymaterialien kommen am Markt auch Polyester, Vinylester und Polyurethane zum Einsatz.

Die ersten Laminat- oder Verbundsysteme, die für diesen Einsatzbereich verwendet wurden, mussten lagenweise angebracht werden. Aufgrund der hohen Eigensteifigkeit dieser vorimprägnierten Verbundsysteme konnte eine Anwendung nur bei geraden Rohren erfolgen, nicht aber bei Bögen, T-Stücken oder anderen unregelmäßig geformten Einbauteilen.

Diese Anforderungen führten zu unterschiedlichen Lösungsansätzen, wobei nach unserer Meinung das hier präsentierte Black Diamond-System<sup>1</sup> hinsichtlich der technischen

1 Das Black Diamond System wird von Citadel Technologies hergestellt und in Europa von der DENSO GmbH vertrieben.



**Bild 1:** Sanierung einer Gasleitung in der Türkei mit Black Diamond System

**Fig. 1:** Repair at a gas-pipeline section in Turkey with Black Diamond system

Photo mit freundlicher Genehmigung von Citadel Technologies  
Photo Courtesy of Citadel Technologies

Leistungsmerkmale und der Verarbeitungsfreundlichkeit auf der Baustelle eine herausragende Rolle einnimmt.

### Black Diamond-Verfahren

Ende der 1990er Jahre entwickelte Citadel Technologies aus Tulsa, USA das Black Diamond Reparatursystem für Rohrleitungen. Als „Schwarzer Diamant“ wird eine höchst seltene und kostbare Diamantenart bezeichnet.

Ausgangspunkt der Entwicklung war ein Reparatursystem für Fernleitungen zu entwickeln, das im Falle einer detektierten Wandstärkereduzierung des Rohres, schnell und effektiv auf Baustellen eingesetzt werden konnte.

Eine weitere Forderung der Praxis war, dass bei diesen Systemen auf den Einsatz einer offenen Flamme verzichtet werden sollte, da aufgrund der erhöhten Explosionsgefahr diese in vielen Bereichen nicht eingesetzt werden durfte.

Gemeinsam mit der verbliebenen Rohrsubstanz sollte dieses Reparatursystem die auf die Rohrleitung einwirkenden Belastungskräfte aufnehmen.

Das Ergebnis dieser Entwicklung ist ein zwei komponentiges System, das aus einer faserverstärkten Carbonfasermatte und einer Polymermatrix aus Epoxidharzmaterialien besteht.

Das Material der Matrix bindet die Fasern in die Struktur ein und ermöglicht den Kohlenstofffasern mechanische Lasten aufzunehmen.

Das Black Diamond-System wird in Bandagenform in mehreren Lagen um das Rohr aufgebracht.

Das Reparatursystem sollte auch gewährleisten, dass die Rohrleitung bei herabgesetztem Druck während der Reparatur in Betrieb bleiben konnte. Dadurch sollten hohe Stillstandskosten vermieden werden. Diese Forderung war insbesondere im Bereich des Einsatzes in Raffinerien von oberster Priorität, da hier Ausfallkosten von bis zu 200.000 € pro Stunde bei Havarien zu Buche schlagen können.

Im Gegensatz zu Fiberglas-Systemen weisen Carbonsysteme nur ein sehr geringes Kriechverhalten auf und ihre Steifigkeit ist durchaus mit der von Stahl zu vergleichen.

Das Black Diamond-System gehört zur Gruppe der nass aufgetragenen Laminiersysteme. Die Aushärtzeit beträgt je nach Außentemperatur zwischen 5 und 6 Stunden.

Aufgrund der sehr flexiblen Auslegung auf die jeweiligen Baustellenbedingungen, können Carbonsysteme bei fast allen Baumaßnahmen zum Einsatz kommen. Bedingt durch diese einfache Anwendung benötigt man nur einen sehr geringen Aushub um den zu reparierenden Rohrabschnitt, was die Tiefbaukosten erfreulich niedrig hält. Carbonsysteme wie Black Diamond können sowohl bei

horizontalen, wie vertikalen Baumaßnahmen eingesetzt werden.

Der Einsatzbereich bei Rohrleitungen erstreckt sich im Temperaturbereich von +5 °C bis +80 °C. Hochtemperatureinsätze bis +160 °C sind mit modifizierten Systemkomponenten möglich.

Da Carbon elektrisch leitfähig ist, wird in allen Fällen, in denen eine Rohrleitung durch eine Schutzstromanlage geschützt wird, ein elektrisch isolierendes 3-Schichten-PE-Kunststoffband (z. B. DENSOLEN-Band AS 40 Plus) in vier Lagen aufgebracht. Diese vier Lagen werden durch zweimaliges Wickeln mit je 50 % Überlappung erreicht.

Die theoretische Lebensdauer des Reparaturverfahrens Black Diamond, basierend auf den den Ergebnissen der Labor-Belastungstests, ist mit 50 Jahren angegeben.

Das Verfahren entspricht den amerikanischen DOT-Bestimmungen, ASME PCC-2 Art 4.1 sowie dem neuen ISO Standard ISO TS 24817 „Composite repair materials for pipelines“.

In Europa ist die Denso GmbH als Vertreter dieser Systeme mit namhaften Betreibern und Prüfinstituten in intensiven Gesprächen, um für dieses in den USA und weltweit sehr bewährte System, Zulassungen zu erreichen und weitere Prüfparameter zu erarbeiten, um den Kunden eine größtmögliche Sicherheit für den Einsatz dieser Reparatursysteme an die Hand zu geben.

### Anforderungen an Reparaturmaterialien

Grundlagen für die Beurteilung dieser Laminat- oder Verbundstoffsysteme sind dabei die folgenden Kriterien:

- die mechanische Festigkeit der verwendeten Verbundstoffe
- die Einwirkungen äußerer Einflüsse auf die Systeme – wie z. B. die kathodische Enthaftung, die jeweiligen Temperatureinwirkungen, das Vorkommen alkalischer Stoffe und der Säuregehalt des Bodens
- die Auswirkungen von wechselnden Drücken. Berstversuche und Ermüdungstests sollen darüber Aufschluss geben
- die Mechanik der Lastübertragung vom Rohr hin zum Verbundstoff,
- das allgemeine Langzeitverhalten,
- die Sicherstellung einer gleichbleibenden Verarbeitungsqualität und
- die Qualitätsüberwachung bei der Fertigung der Systeme.

In diesen Regelwerken werden auch Formeln zur rechnerischen Auslegung dieser Reparatursysteme aufgeführt, basierend auf den Kriterien der Rohrspezifikation und der Fehlerbewertung [2].

Mittlerweile liegen eine Vielzahl von Tests besonders auch für das Black Diamond-System vor. Das bislang noch fehlende Glied sind Untersuchungen über das Langzeitverhalten, insbesondere der eingesetzten 2-komponentigen Haftvermittler [3].

Seit 2007 findet in den USA eine sehr detaillierte und breit angelegte Langzeit-Untersuchung für diese Verbundstoffsysteme statt, die auf zehn Jahre angelegt ist und in jedem Jahr für alle eingesetzten Systeme eine Zwischenbewertung vornimmt.

In Deutschland werden die Berechnungsgrundlagen und Testreihen von den Technischen Überwachungsvereinen begleitet.

Seit 2006 wurden erste, sehr positiv bewertete praktische Erprobungen und Einsätze mit dem Black Diamond-System von einigen



**Bild 2:** Auftragen des Epoxid Primers  
**Fig. 2:** Application of Epoxy primer



**Bild 3:** Tränken der Carbonmatte mit Epoxidharz  
**Fig. 3:** Wet out of carbon mesh with 2-component Epoxy wet-out

deutschen Versorgungsunternehmen durchgeführt, die von den Technischen Überwachungsvereinen begleitet und dokumentiert wurden.

Basis dafür ist der neue Entwurf des Vd TÜV-Merkblattes „Richtlinien zur Qualifizierung für Rohrfernleitungen Eignungsprüfung/Verfahrensprüfung.“ [4]

Dieses Merkblatt beschreibt die Vorgehensweise bei der Qualifizierung von Sanierungsverfahren bei Fehlstellen an Rohrfernleitungen.

Wegen der unterschiedlichen Methoden der Sanierungsverfahren, werden nur allgemeine Angaben an die Anforderungen dieser Verfahren gemacht. Das Merkblatt versteht sich als eine Einführung in diese Problematik, damit im Falle einer notwendigen Sanierung die ursprüngliche Integrität der Rohrleitung wiederhergestellt werden kann.

Mit den einzelnen anzuwendenden Methoden können Defekte entweder dauerhaft oder auch nur temporär saniert werden.

### Verarbeitung des Black Diamond-Systems

Vor der Reparatur wird der Zustand der Rohrleitung sorgfältig ermittelt und dokumentiert. Die Auslegung der Anzahl der notwendigen Lagen für den Reparaturfall wird anhand eines Kalkulationsprogramms, bzw. einer Anwendungstabelle ermittelt und von dem Auftraggeber/Betreiber bzw. dem in die Maßnahme eingebundenen technischen Überwachungsunternehmen gegengezeichnet. Die Auslegung des Reparatursystems basiert auf den Parametern verbleibende Wandstärke des Rohres, allgemeiner Zustand und Art des

Beschichtungsuntergrundes, der Dauerbetriebstemperatur der Leitung und dem Verlauf der Druckbereiche. Aufgrund der ermittelten Informationen wird mit Hilfe einer speziellen Software (Wizard) vom Hersteller, die für die jeweilige Reparaturmaßnahme notwendige Lagenanzahl ermittelt. Vor Ausführung der Arbeiten dokumentieren der Betreiber und der zuständige Sachverständige schriftlich sein Einverständnis zur Ausführung der Arbeiten.

Die anschließende Ausführung der Arbeiten erfolgt ausschließlich durch speziell vom Hersteller geschulte und zertifizierte Unternehmen, die auch eine Eignung für Gastechische Arbeiten nach DVGW-Arbeitsblatt GW 301 Gruppe G 1 „Gasrohrleitungen für alle Drücke und Nennweiten“ nachweisen müssen.

Alle Materialien, die im Vorfeld durch die Auslegung auf die Erfordernisse der Baumaßnahme und des betreffenden Rohrdurchmessers ermittelt wurden, werden für jede einzelne Naht in einem Kit geliefert, der alle für die Sanierung einer Naht notwendigen Materialien und Werkzeuge enthält.

Der zu reparierende Rohrabschnitt wird durch Sandstrahlen – Reinheitsgrad SA 2 ½ gereinigt, um eine möglichst hohe Haftscherfestigkeit zu erreichen.

Bei stark korrodierten Stellen wird anschließend ein Epoxyfüllmaterial in die Vertiefungen eingebracht, um eine glatte Fläche für den Auftrag des Epoxy Primers zu ermöglichen.

Nach Aufbringen des Epoxy Primers wird das in einem 2-komponentigen Epoxymaterial getränkte Carbongewebe in mehreren Lagen (je nach Bewertungszustand meist 4 – 6 Lagen, das entspricht 2 – 3 mm Gesamtdicke) um den zu sanierende Rohrabschnitt gewickelt.

Der Übergang zwischen reparierter Fläche und Werksumhüllung sollte immer auf Stahl erfolgen. Mit dem Black Diamond-System wird nicht auf die angrenzende Werksumhüllung überlappt. Sobald der Epoxy Primer ausgehärtet ist (abhängig von der Außentemperatur 5 – 6 Stunden nach Auftrag) wird ein Korrosionsschutzsystem nach EN 12068 Klasse C 50 aufgebracht und die Werksumhüllung in einer Breite von jeweils 10 cm auf beiden Seiten miteinbezogen. Im Falle einer oberirdischen Verlegung wird ein mit Butylkleber kaschiertes Aluminiumband über dem Reparatur-System aufgebracht.

Komplexe Geometrien wie Bögen, T-Stücke, Reduzierstücke und Ventile können aufgrund der Flexibilität des Carbongewebes ebenfalls mit dem Black Diamond-System repariert werden.

### Aktueller Ausblick zum Einsatz von Komposit-Reparaturverfahren

Eine aktuelle Untersuchung des US Department of Transportation ergab, dass der Einsatz von Einschweißpasstücken um ca. 24 % höhere Kosten verursacht, als der Einsatz von Laminat-Reparatursystemen. Bei einem Austausch der Rohrabschnitte steigen die Mehrkosten um mehr als 73 %.

Das US Department of Transportation, das auch für die Rahmenbedingungen für den Betrieb und die Verlegung von Transportleitungen in den USA verantwortlich zeichnet, hat im Januar 2000 einen Maßnahmenkatalog als Grundlage für Reparaturarbeiten an Gasleitungen und Leitungen für andere flüssige Medien erlassen. [5]



**Bild 4:** Aufbringen der getränkten Carbonmatten in mehreren Lagen

**Fig. 4:** Wrapping of saturated Carbon-mesh in several layers



**Bild 5:** Sanierter Rohrabschnitt mit Black Diamond-System vor Aufbringung des Korrosionsschutzsystems

**Fig. 5:** Rehabilitated Pipe Section prior to application of corrosion prevention system



**Bild 6:** Elektrische Isolation und Korrosionsschutz durch Aufbringen von vier Lagen DENSOLEN-Band AS 40 Plus

**Fig. 6:** Electrical isolation and corrosion prevention by applying 4 layers of DENSOLEN Tape



**Bild 7:** Fertige Kits für Rohrdurchmesser DN 900 (36")

**Fig. 7:** ready-for-use repair kits for 36" pipe (DN 900)

Bilder 2-6 mit freundlicher Genehmigung von RAKW Wildau  
Photos 2-6 Courtesy of RAKW Wildau.

Die entscheidende Passage lautete dort „die Leitungen müssen durch ein System repariert werden, dass durch eine zuverlässige Berechnungsgrundlage und begleitende Testreihen sicherstellt, dass ein weiterer sicherer Betrieb der Rohrleitung dauerhaft gewährleistet ist.“

Diese Forderung fand ihren Eingang in das neu geschaffene US Regelwerk ASME –PCC 2 Art 4.1 2006 (Post Construction Code: Repair using non-metallic materials) [6]

In fast gleichen Wortlaut wurden diese Anforderungen 2007 in den neu geschaffenen ISO Standard ISO-TS 24817“Composite Repair of Pipeworks“ übernommen. [7]

**Zusammenfassung**

Mit Hilfe dieser Technologie ist es möglich, Schadstellen zu reparieren, die durch eine mechanische Beschädigung des Rohres entstanden sind. Eine Reparatur kann bis zu einer Reduzierung von maximal 80 % der ursprünglichen Wandstärke des Stahlrohres erfolgen, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des Betriebs der Leitung.

Die Ausführung der Systeme erfolgt ausschließlich durch zertifizierte Verarbeiter, die ihre Eignung für diese Arbeiten durch einen personengebundenen Ausweis dokumentieren können. Das Personal des Betreibers, das für den Betrieb dieser Rohrleitung verantwortlich zeichnet, sowie die Sachverständigenstellen, die die Baumaßnahmen abnehmen (TÜV,

DVGW-Sachverständige) werden ebenfalls vom Hersteller in Theorie und Praxis geschult und zertifiziert.

Durch diese Maßnahmen wird den Kriterien „Sicherheit“ und „Qualität“ der Reparatur von Rohrleitungen die höchste Priorität eingeräumt.

**Literatur**

- [1] R. Walker, J. French, M. Green: Validation Testing of Composite Repair Systems for Pipes and Pipelines”, Vortrag gehalten am 20.4.2009 anlässlich der “Pipe Technology” Konferenz in Hannover
- [2] B31.G-1991 “Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines: Supplement to B31 Code-Pressure Piping”, ASME, New York, ISBN: 0791821137, 2004
- [3] C. Alexander: Assessing the use of composite materials in repairing and reinforcing offshore riser pipes; Vortrag gehalten am 19. September 2006 in Camarillo , CA, USA anlässlich der MMS ROTAC Konferenz
- [4] VdTÜV-Merkblatt „Richtlinie zur Qualifizierung von Sanierungsverfahren für Rohrfernleitungen Eignungsprüfung/Verfahrensprüfung“ 2008
- [5] RSPA Department of Transportation 98-4733 “Pipeline Safety: Gas and Hazardous Liquid Pipeline Repair” 2000
- [6] ASME Post Construction Code (PCC) 2-2006, Repair of Pressure Equipment and Piping, ASME, New York, 2006

[7] ISO TS24817:2006, “International Standards Organization code for Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Composite Repairs for Pipework, Qualification and design, installation, testing and inspection”

[8] B31.4-2006, Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids, ASME, New York, ISBN: 0791830063, 2006

[9] B31.8, Gas Transmission and Distribution Piping Systems, ASME, New York, ISBN: 0791831094, 2007

**Autoren:**

**Dipl.-Ing. Thomas Rehberg**  
DENSO GmbH, Leverkusen



Tel: +49(0)214/2602-308  
E-Mail: rehberg@denso.de

**Michael Schad**  
DENSO GmbH, Leverkusen



Tel:+49(0)214/2602-260  
E-Mail: schad@denso.de