

Bitte beachten: Der vorliegende Bericht dient zu Informationszwecken! Der originale Inhalt ist stark verkürzt und nur auszugsweise wiedergegeben.

Untersuchungsbericht

Untersuchung eines Berstschadens an einem Panzerschlauch



Dr.-Ing. Korbinian Puchner ■ Werkstoffkundliche Schadensanalytik

Mariengasse 6
82234 Wessling

Tel.: +49 (0)8153 909 83 00
Mobil: +49 (0)173 996 50 80

Web: www.puchner-schadensanalytik.de
Mail: info@puchner-schadensanalytik.de

Untersuchungsgegenstand / Äußerer Zustand



Bild 1 zeigt die zur Untersuchung übergebenen Schlauchabschnitte in der Übersicht. Es handelt sich um einen anwendungsüblichen, flexiblen Druckschlauch mit Drahtgewebeamantelung (sog. Panzerschlauch).

Deutlich zu erkennen ist im Bereich der Schadensstelle eine vollständige, umlaufende Trennung der Drahtgewebeamantelung (Bild 2) mit einer schadenbedingten Freilegung des transparenten Innenschlauchs. Dieser ist sowohl durch einen Längsriss wie auch durch Querrisse geschädigt.



Bild 1: Übersichtsaufnahme des untersuchungsgegenständlichen Schlauches mit Kennzeichnung der Schadensstelle

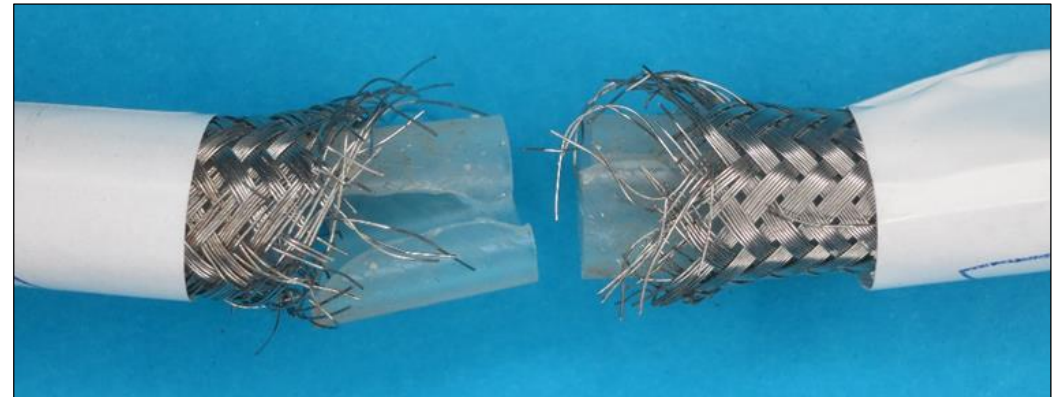


Bild 2: Detailaufnahme der Schadensstelle in ursprünglicher Passposition



Digitalmikroskopie



Deutlich zu erkennen sind in der Peripherie der Trennstelle bräunliche Verunreinigungen auf der Oberfläche des Drahtgewebes wie auch auf der Außenhaut des Innenschlauches (Bild 3). Es liegen Verkrustungen bzw. voluminöse Anhaftungen vor, deren Erscheinungsbild dem äußeren Anschein nach auch auf eisenoxidische Korrosionsprodukte hinweist. Deutlich zu erkennen sind zahlreiche, verformungslose Trennungen der Einzeldrähte, die quer zur jeweiligen Drahtachse verlaufen.

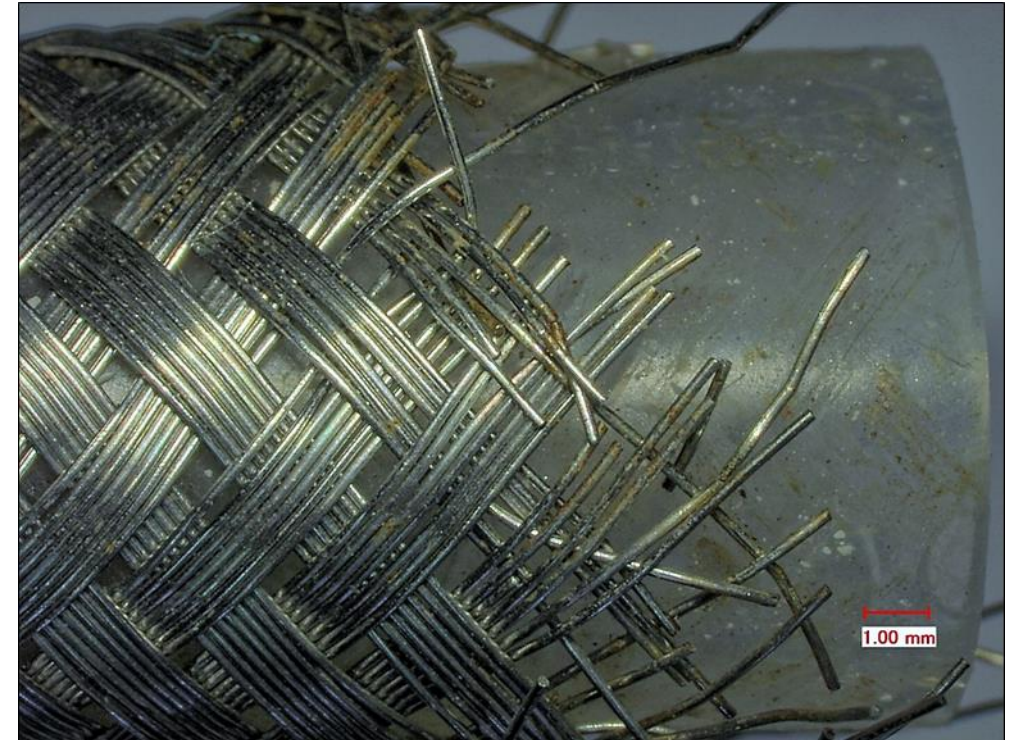


Bild 3: Digitalmikroskopische Aufnahme des Drahtgewebes im Schadensbereich



Digitalmikroskopie

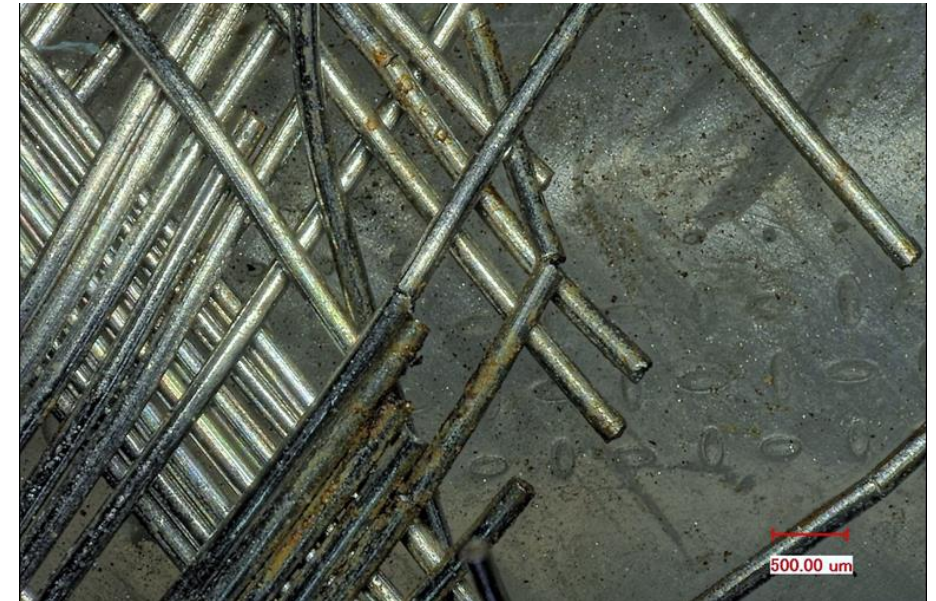


Soweit aufgrund der Belegung erkennbar, weisen die Bruchflächen eine eher feinkörnige Topographie auf (Bild 4). Das Reflexionsvermögen ist in belagsfreien Bereichen als matt zu beschreiben.



Bilder 4 und 5:

Digitalmikroskopische
Detailaufnahmen des
Drahtgewebes im
Schadensbereich



Es fällt auf, dass die Trennungen der jeweils sechs Einzeldrähte eines Strangpaketes auf unterschiedlichen Ebenen verlaufen (Bild 5). Ebenso existieren an Einzeldrähten auch mehrere, voneinander unabhängige Trennstellen mit Knicken im Bereich unvollständiger Durchrisse.





Digitalmikroskopie

Bild 6 zeigt eine digitalmikroskopische Aufnahme der Trennfläche am Innenschlauch im Bereich des Längsrisses.

Der Verlauf und die Orientierung der Bruchstruktur deuten auf einen von der Innenoberfläche ausgehenden Reißbruch hin. Dieser breitet sich augenscheinlich nach Durchdringen des Wandquerschnitts in Richtung der Schlauchachse weiter aus.

Hinweise auf Schnitte oder von außen einwirkende mechanische Beschädigungen sind aus dem Versagensbild nicht abzuleiten.

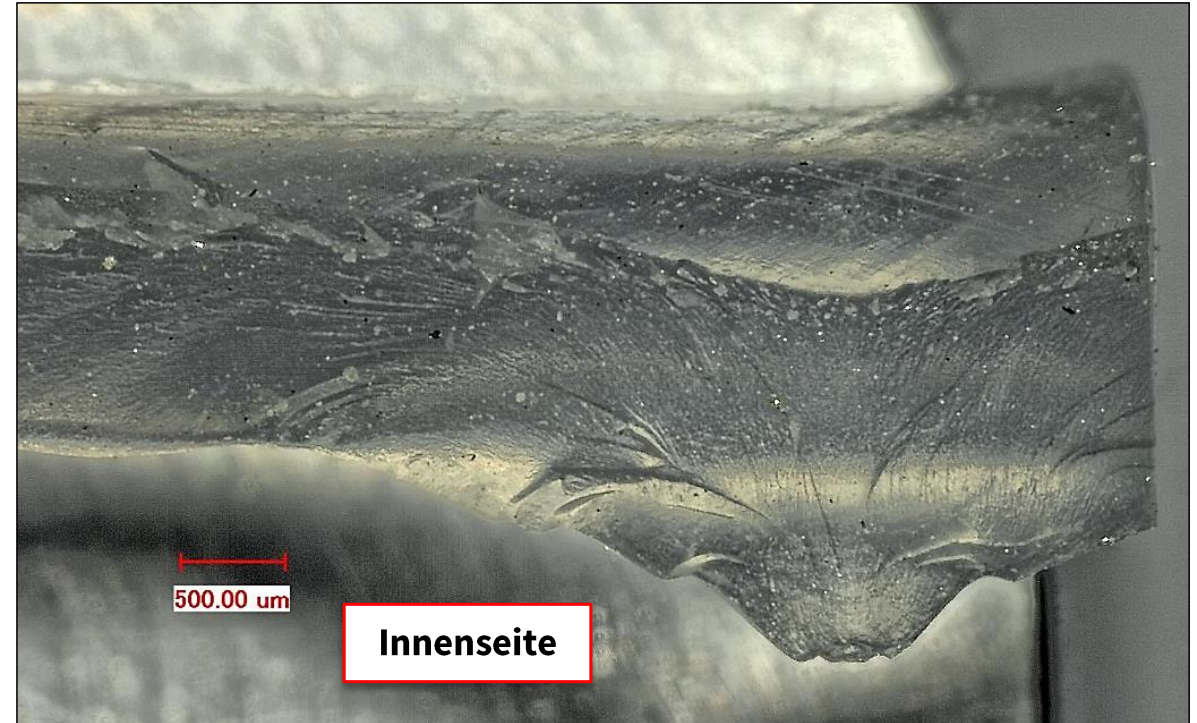


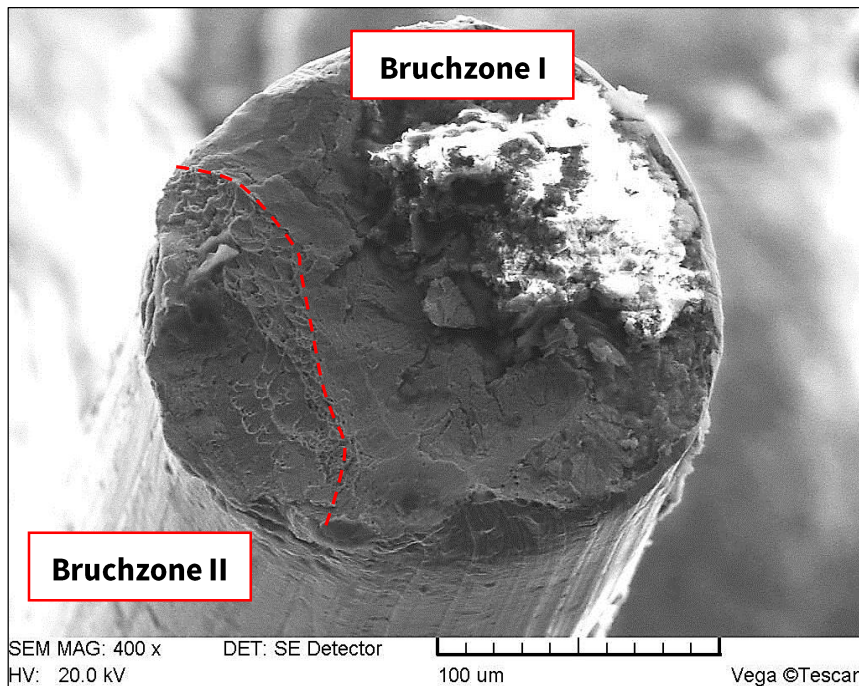
Bild 6: Digitalmikroskopische Aufnahme des Längsrisses am Innenschlauch



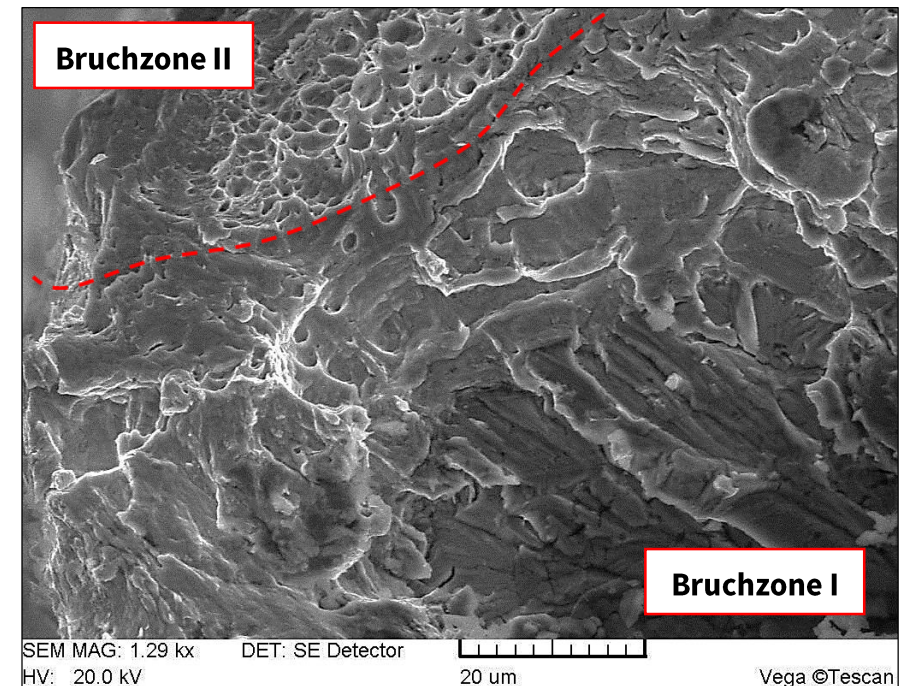
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung



Bild 7 zeigt die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Bruchstelle des Drahtgewebes in der Übersicht. Es liegt keine nennenswerte Einschnürung vor, der Versagenscharakter ist also verformungslos. Trotz der lokalen Belegung mit voluminösen Anhaftungen lassen sich aufgrund der topographischen Merkmale zwei unterschiedliche Bruchzonen differenzieren. Der abrupte Wechsel zwischen diesen beiden Morphologien ist in Bild 8 unter höherer Vergrößerung verdeutlicht.



Bilder 7 und 8:
Rasterelektronenmikroskopische Übersichts- und Detailaufnahme der Bruchstelle eines Drahtes



Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung



Die Detailbetrachtung der „Bruchzonen I“ zeigt, dass diese flächenmäßig dominierenden Bereiche von einem weitgehend glatten Bruchbild geprägt sind (beispielhaftes Bild 9). Die transkristallin verlaufenden Teilbruchflächen sind durch feder- und fächerartige Strukturen zu charakterisieren.

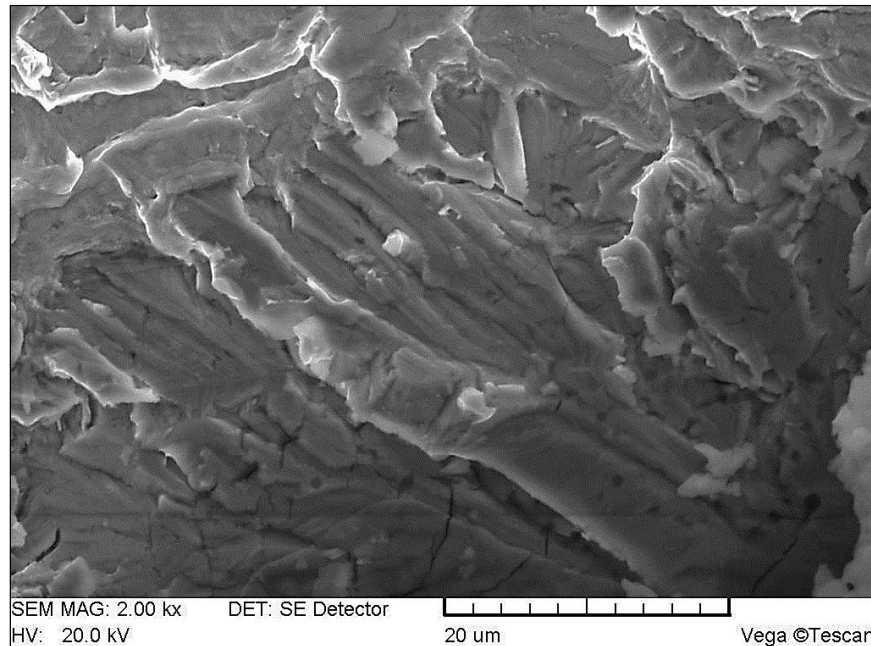


Bild 9:
REM-Aufnahme der Bruchzone I mit feder- und fächerartigen Strukturen

In den von den „Bruchzonen I“ linsenförmig abgegrenzten, kleinflächigen „Bruchzonen II“ hingegen liegen wabenartige Topographien vor (beispielhaftes Bild 10). Die fein ausgeprägten Bruchwaben sind in Richtung der Drahtachsen ausgerichtet.

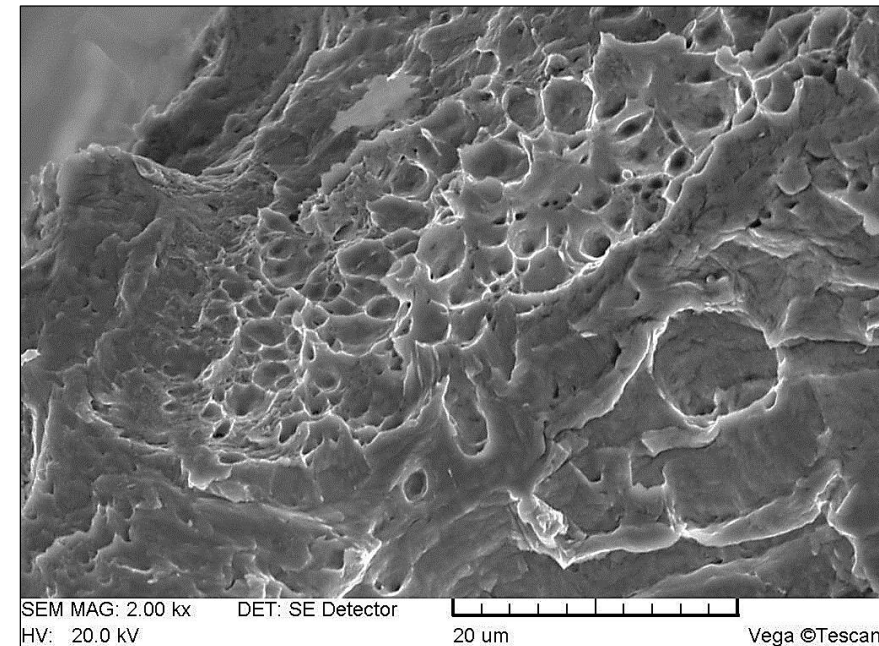


Bild 10:
REM-aufnahme der Bruchzone II mit gerichteter Wabenstruktur





Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

Eine vergleichbare Morphologie liegt an einem Laborbruch vor, der unter einachsiger Zugbeanspruchung erzeugt wurde (Bild 11). Der Bruch mit stark ausgeprägter Einschnürung bestätigt die Duktilität des Drahtwerkstoffs. Der kleinflächige, kreisrunde und zentral angeordnete Gewaltbruch zeigt versagens- und werkstofftypische Bruchwaben.

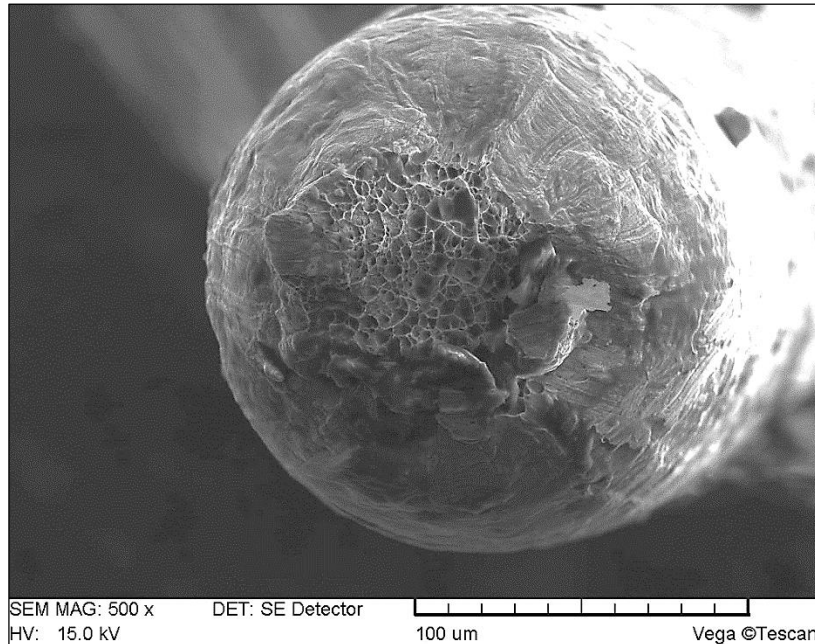
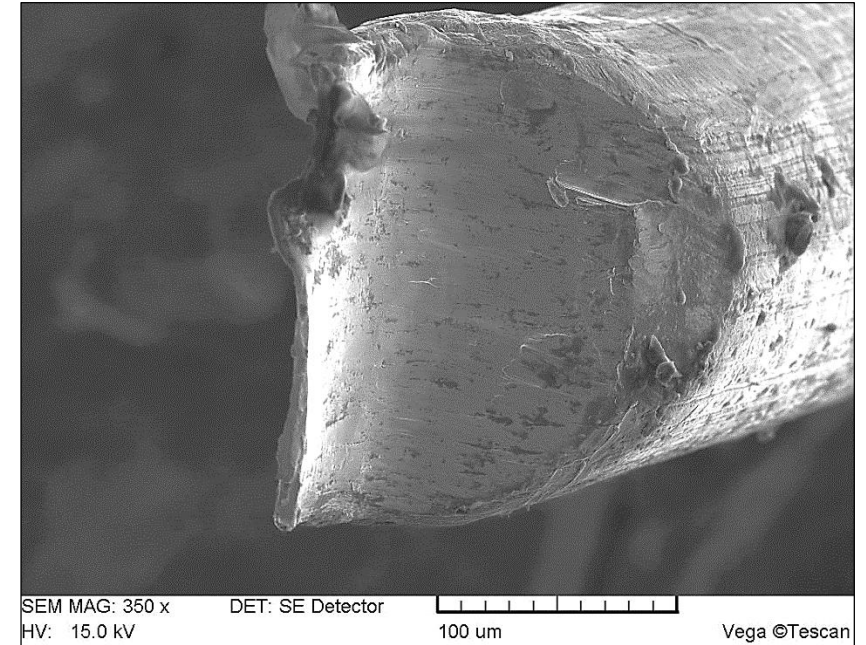


Bild 11:
Laborgewaltbruch

Bild 12:
Mittels Seitenschneider erzeugte Trennstelle



Zu Vergleichszwecken wird eine Trennstelle unter Verwendung eines Seitenschneiders erzeugt. Bild 12 verdeutlicht die symmetrisch verformte, klingenartig verstreckte Trennstelle. Das Erscheinungsbild unterscheidet sich wesentlich von den schadengegenständlichen Bruchbereichen.



Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung



Bild 13 zeigt eine elektronenmikroskopische Aufnahme der durch Längsriss erzeugten Trennfläche am elastomeren Innenschlauch. Unter höherer Vergrößerung ist anhand von Bruchbahnen mit teils ondulierten Wänden sowie durch verstreckte Werkstoffzipfel ein duktilen Versagensverhalten nachzuweisen. Die Bruchstruktur deutet auf einen Reißbruch unter Normalspannungseinfluss hin.

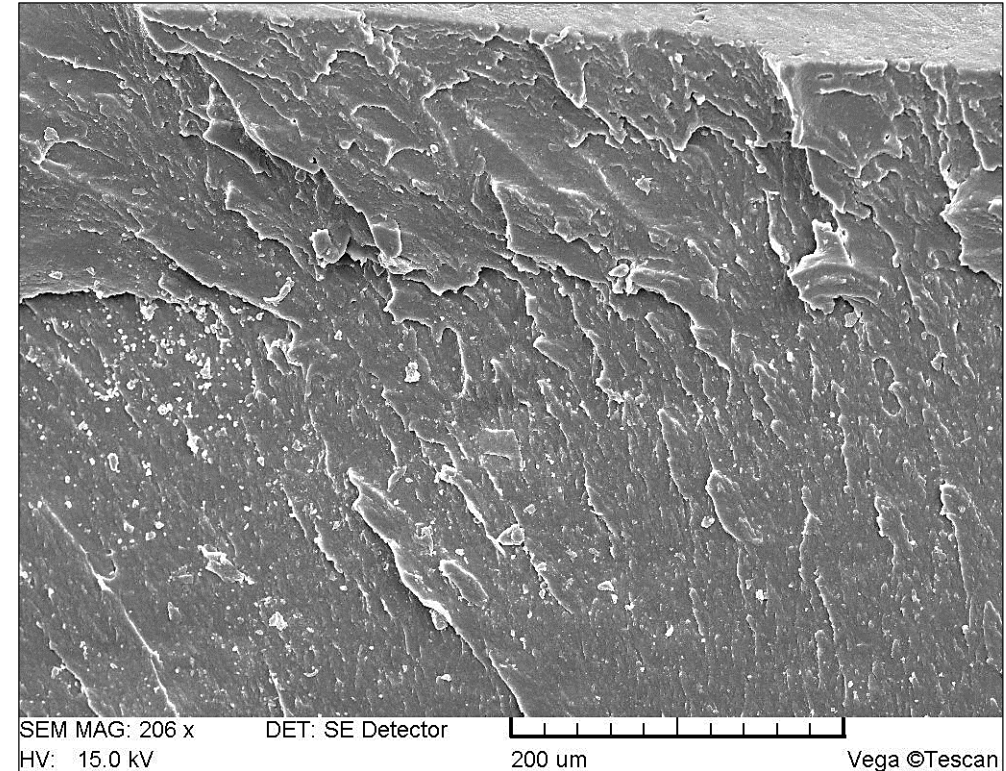


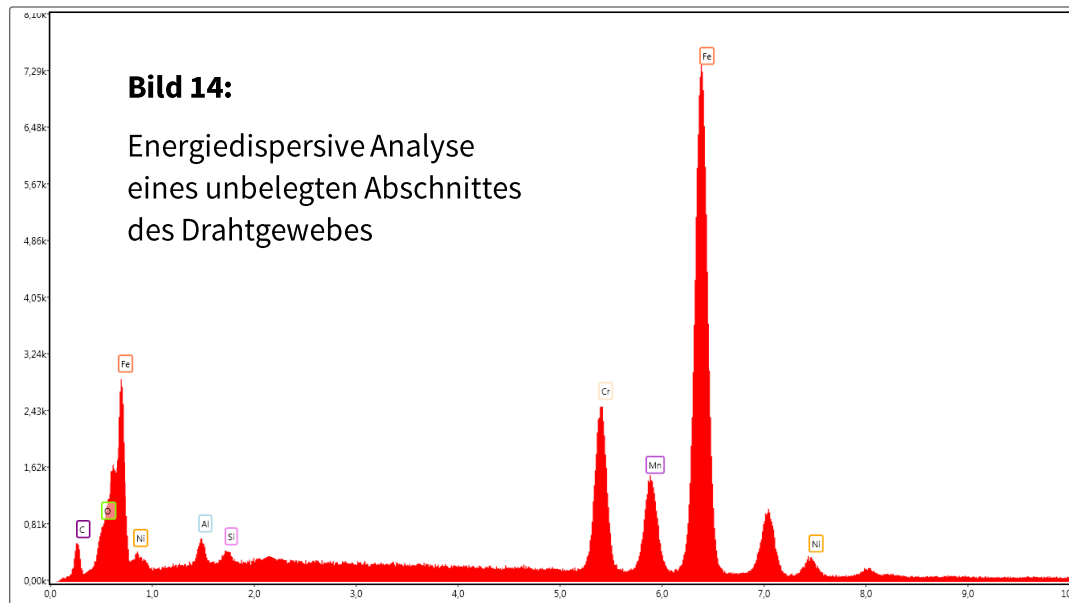
Bild 13: Rasterelektronenmikroskopische Übersichtsaufnahme des Längsrisses am Innenschlauch



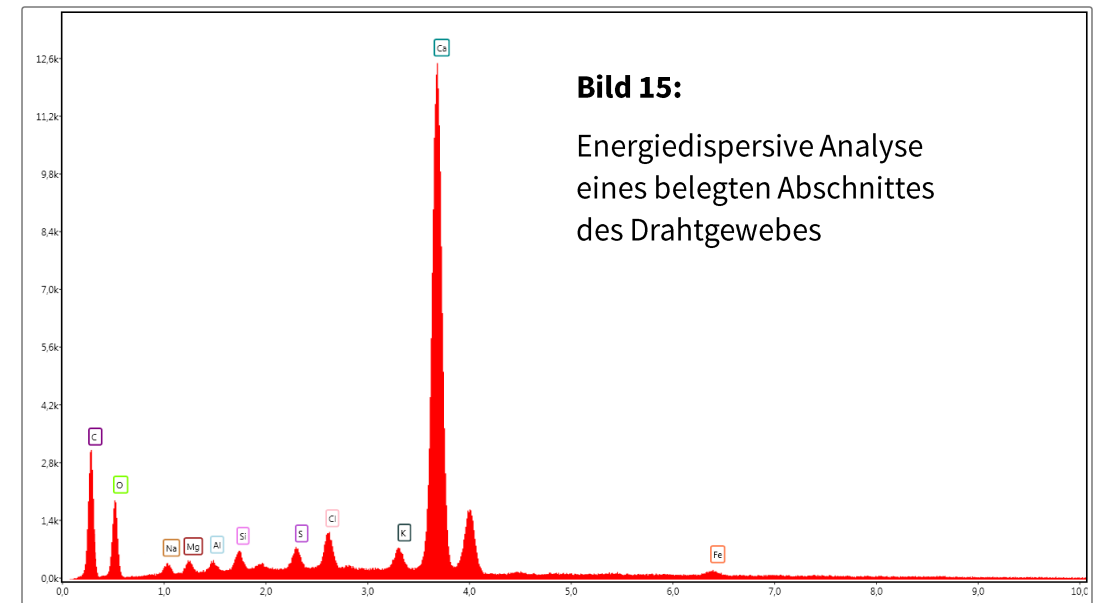


Feinbereichsanalysen

Das in Bild 14 dargestellte EDX-Spektrum eines belagsfreien Drahtabschnitts wird durch die Elemente Eisen, Chrom und Nickel dominiert. Es handelt sich hierbei um die typischen Legierungselemente eines austenitischen Drahtwerkstoffs.



Im Gegensatz dazu wird das Spektrum der Anhaftungen (Bild 15) durch das Element Calcium dominiert. Dieses Element sowie Natrium, Magnesium, Silicium und Kalium sind feststofflichen Wasserrückständen zuzuordnen. Auffallend sind signifikante Peaks der Elemente Schwefel und Chlor.



Ergebnisbewertung



Die Leckage ist auf ein ursächliches Versagen der Drahtgewebeumhüllung des Anschlussschlauches zurückzuführen. In Folge der fehlenden Stützwirkung durch das Gewebe erfolgt der Berstschaaden des Innenschlauches. Als Ursache für das Versagen der Drahtgewebeumhüllung ist anhand des Schadensbilds und den Ergebnissen der fraktographischen Untersuchung zweifelsfrei eine Spannungsrisskorrosion (SpRK) des austenitischen Drahtwerkstoffs zu ermitteln.

Die fraktographische Begutachtung zeigt eine für diese Schadensart charakteristische Bruchmorphologie der makroskopisch verformungslosen Trennungen, bestehend aus transkristallin verlaufenden Teilbruchflächen mit feder- und fächerartigen Strukturen. Kleinflächige Restgewaltbrüche entstehen dort, wo nach fortschreitender Rissausbreitung der verbleibende Restquerschnitt infolge der ständig zunehmenden Spannung durch Gewaltbruch versagt.

Ein Versagen infolge einer mechanischen Einwirkung durch Dritte ist auszuschließen, da beispielsweise ein Werkzeugeinsatz ein durch Verformung geprägtes Spurenbild hinterlässt. Zudem widerspricht das Schadensbild mit Trennungen auf unterschiedlichen Ebenen sowie mit mehreren, voneinander unabhängigen Trennstellen einer äußeren, mechanisch bedingten Schadensursache. Ebenso auszuschließen ist aufgrund der fehlenden Brucheinschnürung ein Gewaltversagen z.B. durch eine Überdruckbeanspruchung.





Ergebnisbewertung

Ein derartiges SpRK-System erfordert das gleichzeitige Einwirken von drei Parametern, nämlich

1. gegenüber SpRK empfindlicher Werkstoff
2. spezifisches Angriffsmittel
3. mechanische (Zug-)Spannungen

Zu 1: Hochlegierte, austenitische Chrom-Nickelstähle (vgl. EDX-Spektrum des Drahtwerkstoffs) zeigen eine grundsätzliche Anfälligkeit gegenüber SpRK. Dem für diese Werkstoffgruppe auffallend hohen Mangangehalt könnte eine Erhöhung der Anfälligkeit gegenüber SpRK zugeschrieben werden.

Zu 2: Als zwingende Voraussetzung einer SpRK ist das Einwirken eines spezifischen, korrosiv wirkenden Mediums zu nennen. Dass eine derartige Benetzung stattgefunden hat, ist anhand der Verunreinigungen und Rückstände im Schadensbereich zu belegen. Teilweise handelt es sich hierbei um feststoffliche Wasserrückstände; es erfolgt jedoch auch der eindeutige Nachweis chloridhaltiger Rückstände, die in besonderer Weise eine SpRK begünstigen.

Zu 3: Die für die Schadenentstehung notwendigen Zugspannungen sind systemimmanent und ergeben sich aus dem betriebsüblichen Beanspruchungskollektiv (statischer Innendruck, Druckschwankungen, Druckstöße, thermische Spannungen...)



Zusammenfassung



Die werkstoffkundliche Schadensanalyse ergibt, dass die Leckage auf eine Spannungsrisskorrosion des Drahtgewebes zurückzuführen ist. Die korrosiv bedingten Brüche des Drahtgewebes führen zu einem Versagen der mechanischen Stützfunktion, wodurch eine Überbeanspruchung des Innenschlauchs mit der Folge eines Reißbruchs bewirkt wird. Mittels energiedispersiver Rückstandsanalysen erfolgt der Nachweis, dass die Spannungsrisskorrosion durch eine Benetzung der Schlauchoberfläche mit einem chloridhaltigen Medium ausgelöst wurde. Der Schaden könnte durch eine Verringerung der Korrosionsbeständigkeit des Drahtwerkstoffs begünstigt werden, die sich aus einer unüblichen chemischen Zusammensetzung des Drahtwerkstoffs ergibt. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass aufgrund der fehlenden Schlauchkennzeichnung kein zertifiziertes Produkt verbaut wurde.

