

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

# Untersuchungsbericht

Ermittlung der Bruchursache am Gabelkopf einer Stahlseilverbindung



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](http://www.puchner-schadensanalytik.de)  
Mail: [info@puchner-schadensanalytik.de](mailto:info@puchner-schadensanalytik.de)

# Untersuchungsgegenstand / Äußerer Zustand

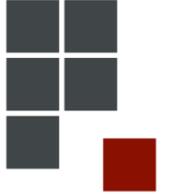


Die Bilder 1 und 2 zeigen den untersuchungsgegenständlichen Gabelkopf in der Übersicht. Der Gabelkopf ist Bestandteil einer Stahlseilverbindung, die zur Aufhängung eines Rührwerks dient. Nach einer Betriebsdauer von nur wenigen Monaten kam es zum Bruchversagen des Gabelkopfes, in dessen Folge sich die Stahlseilverbindung löste und das Rührwerk auf den Behälterboden stürzte.



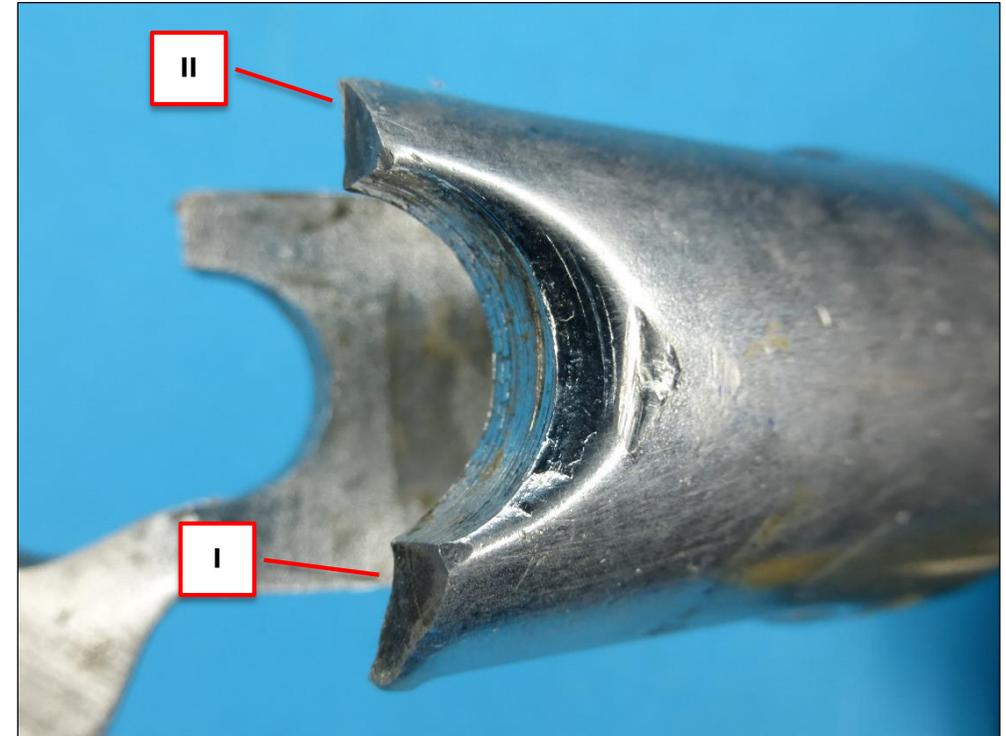
**Bilder 1 und 2:** Übersichtsaufnahmen des untersuchungsgegenständlichen Gabelkopfes





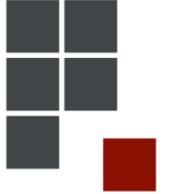
# Äußerer Zustand

An einem der beiden Befestigungsäuge liegt ein vollständiger Abriss vor (Bild 3); die Trennungen sind im Bereich des geringsten tragenden Querschnitts ohne makroskopische Verformung erfolgt. Die beiden senkrecht zur Gabelachse verlaufenden Bruchflächen sind im Folgenden mit I und II bezeichnet; sie verlaufen in einer gemeinsamen Bruchebene. Das abgetrennte Gegenstück des Befestigungsäuges liegt nicht zur Begutachtung vor.



**Bild 3:** Detailaufnahme der Bruchbereiche am vollständig abgetrennten Befestigungsauge

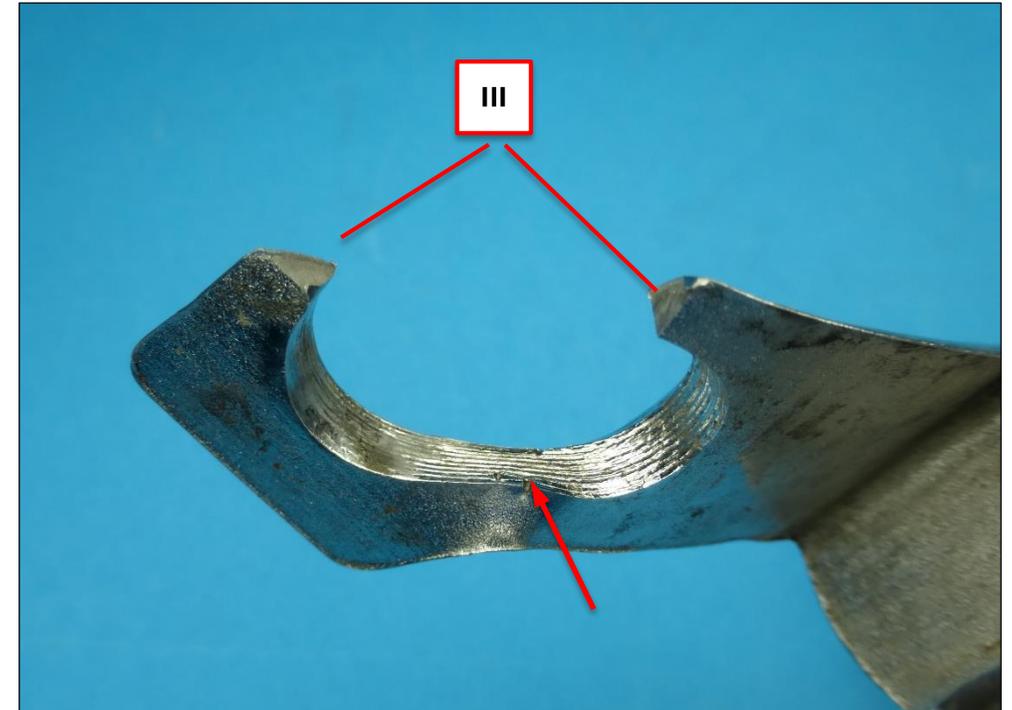




# Äußerer Zustand

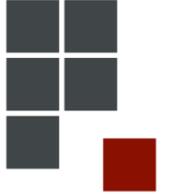
Am zweiten Befestigungsauge des Gabelkopfes liegt ein Teilabriss vor (Bruchfläche III, vgl. Bild 4). Nach Ausbildung einer ebenfalls verformungslosen Bruchfläche an einem der beiden Tragquerschnitte kam es zum Ausriss des Bolzens in axialer Richtung, in dessen Folge eine erhebliche plastischen Verformung des aufgebrochenen Auges hervorgerufen wurde.

Das Oberteil des Befestigungsauges wurde hierbei erheblich aufgeweitet sowie in seitlicher Richtung verbogen. Am Innenumfang des verbleibenden Tragquerschnitts entstand ein Anriss (Pfeil in Bild 4).



**Bild 4:** Detailaufnahme der Bruchstelle III, Pfeil kennzeichnet Anriss

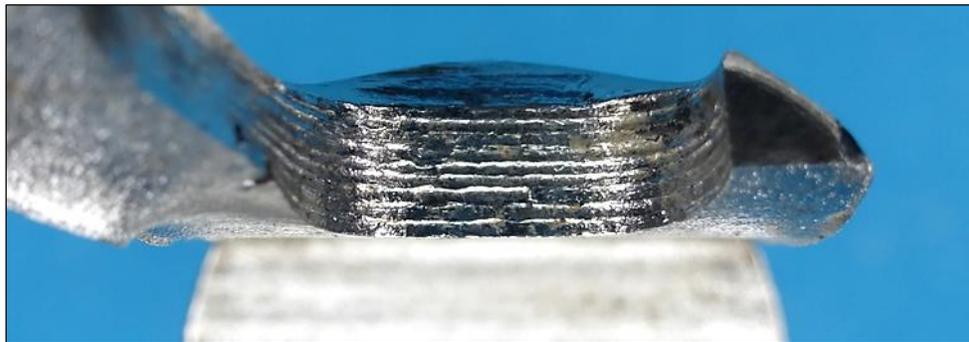




# Äußerer Zustand

Der Oberflächenzustand der Bolzendurchführung am teilabgerissene Querschnitt spiegelt die durch die Betriebskräfte hervorgerufenen Beanspruchungen wider. Die in Richtung des Gabelkopfes (Seilrichtung) orientierte, lastfreie Halbschale zeigt den ursprünglichen Oberflächenzustand mit unbeschädigter Glanzbeschichtung und einer Abfolge von grob ausgebildeten, herstellungsbedingten Riefen (Bild 5).

Im Gegensatz dazu bildet die teilabgerissene Halbschale des Gabelkopfes die Lastflanke der Bolzenaufnahme ab (Bild 6). Deutlich zu erkennen sind durch Einebnung der Oberflächenriefen hervorgerufene Mattstellen sowie lokale Abrasionsspuren also Folge der dort abgetragenen Gewichtskraft des Rührwerks und der dynamischen Betriebslasten).



**Bild 5:** Detailaufnahme der Bolzendurchführung an Bruchstelle III in Richtung des Gabelkopfes



**Bild 6:** Detailaufnahme der Bolzendurchführung an Bruchstelle III in Richtung des Rührwerks (Lastflanke) mit Oberflächeneinebnung und Abrasionsspuren (Pfeil)



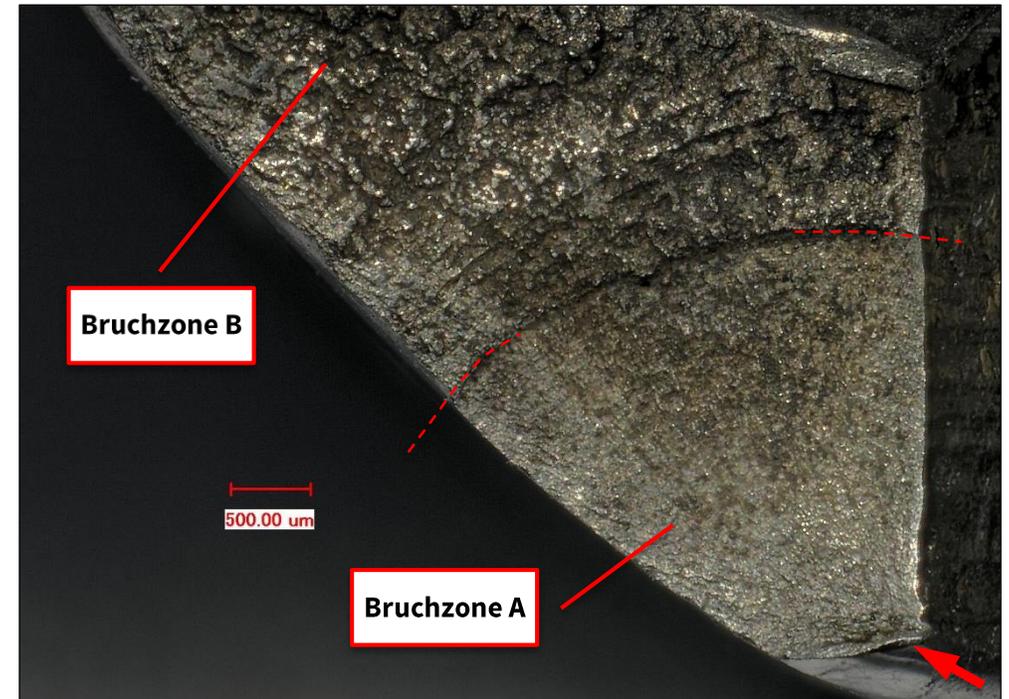
# Makrofraktographie / Digitalmikroskopie



Bild 7 zeigt die **Bruchfläche I** in digitalmikroskopischer Aufnahmetechnik; hinsichtlich der Topographie sind zwei Teilbruchflächen zu differenzieren. Die im unteren Bildabschnitt liegende, ebene Teilbruchfläche zeigt ein mattes Reflexionsvermögen. Diese Bruchzone A ist topographisch als samtartig zu beschreiben.

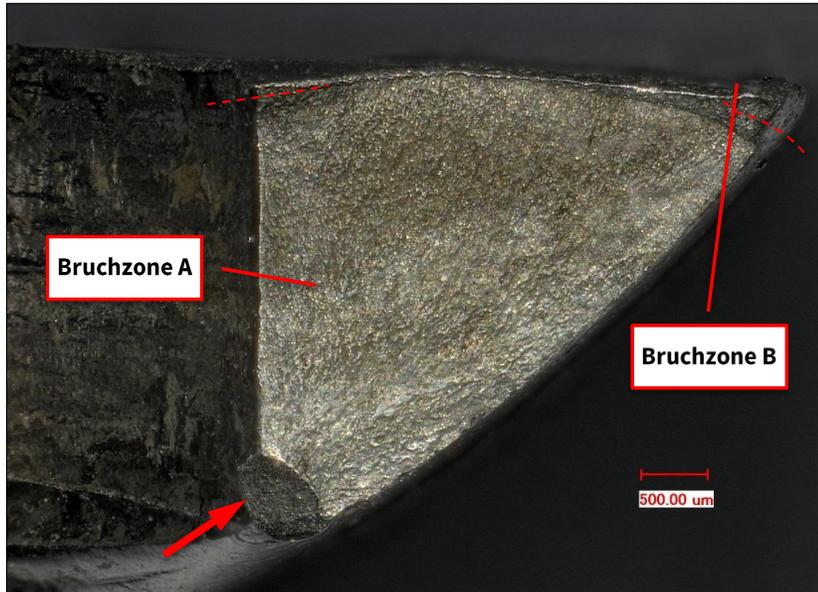
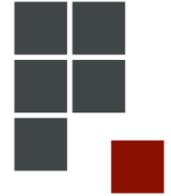
Auffallend ist eine Überzeichnung dieser Bruchzone mit fein ausgebildeten Bruchsträhnen, die in radialer Ausrichtung auf die spitzwinklig zulaufende, untere Ecke hinlaufen (Verschneidung von Bolzendurchführung und zylindrischer Außenoberfläche).

Die im oberen Abschnitt von Bild 10 liegende „Bruchzone B“ weist eine gegenüber Bruchzone A vergrößerte Morphologie auf. Deutlich zu erkennen sind ausgeprägte Bruchfortschrittslinien in Form von so genannten Rastlinien. Deren konzentrische Anordnung um die oben beschriebene Ecke bestätigt die dort stattfindende Bruchinitiierung (Pfeil in Bild 7).

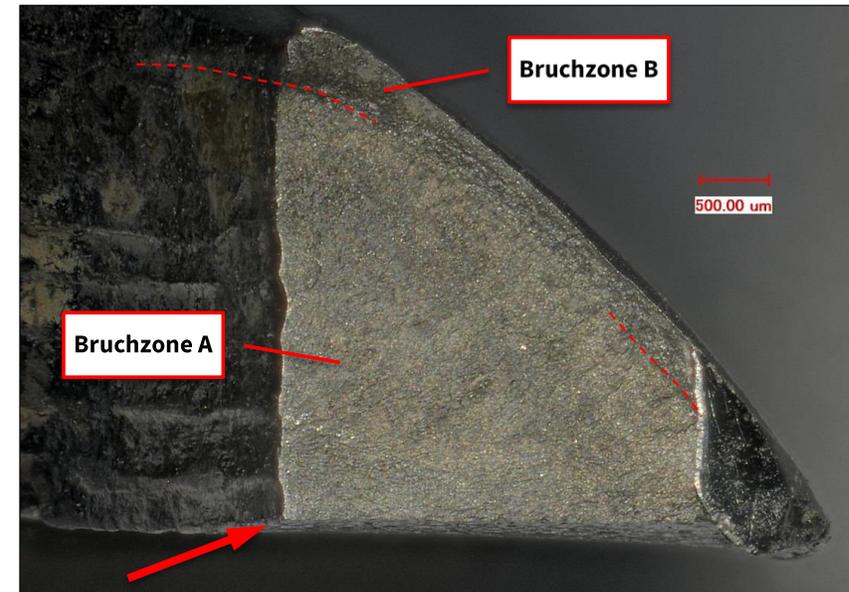


**Bild 7:** Bruchfläche I, Pfeil kennzeichnet Bruchausgangsbereich

# Makrofraktographie / Digitalmikroskopie



**Bild 8:**  
Bruchfläche II



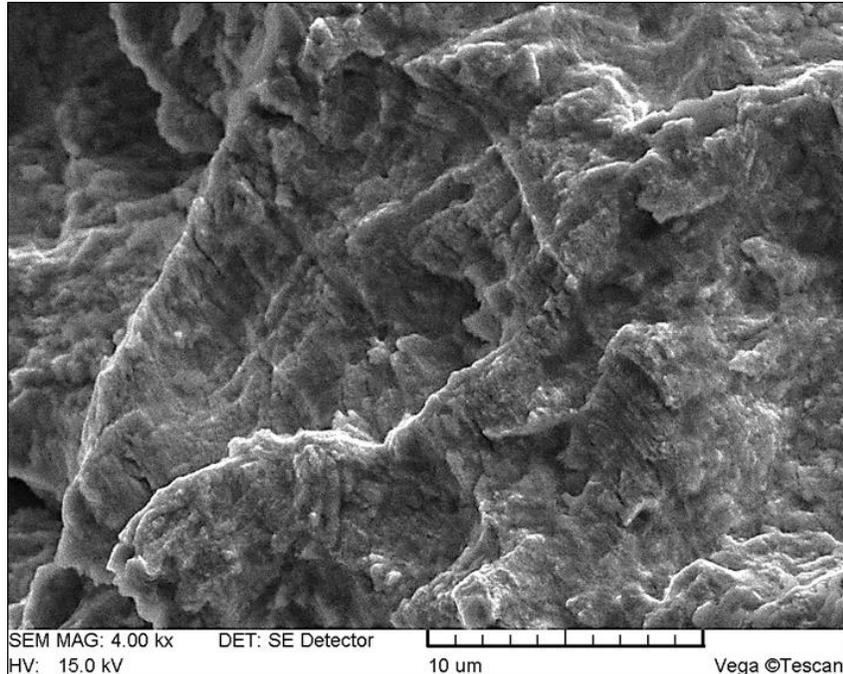
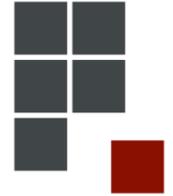
**Bild 9:**  
Bruchfläche III

Ein hinsichtlich der makrofraktographischen Merkmale vergleichbares Bild ist für Bruchfläche II zu ermitteln (Bild 8); das Flächenverhältnis ist erheblich in Richtung der Bruchzone A verschoben. Die Bruchzone B beschränkt sich saumartig auf den Kantenbereich am Gabelschlitz. Der Bruchausgangsort ist durch eine lokale kreisförmige Verhämmerung sekundär beschädigt.

In Abweichung zu den Bruchflächen I und II wird die Bruchfläche III an der 90° Ecke initiiert, die durch die Verschneidung von Bolzendurchführung und Gabelschlitz gebildet wird (Pfeil in Bild 9). Die schuppenförmige Überschmierung des in Bild 9 rechts liegenden Eckbereichs ist als sekundärer Schadenseinfluss (Schlagschaden) zu identifizieren.

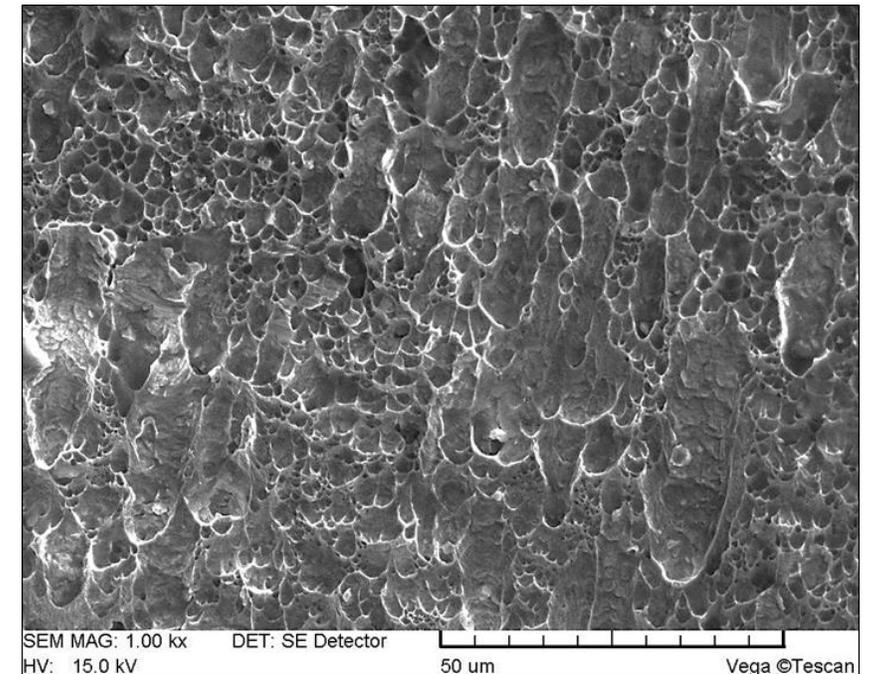


# Mikrofraktographie / Rasterelektronenmikroskopie



Bruchfläche II zeigt im Übergang beider Zonen bei elektronenmikroskopischer Darstellung Nebenrisse, die quer zur Bruchfortschrittsrichtung verlaufen (Bild 10). Innerhalb der verschiedenen Bruchbahnen dominiert eine Abfolge von Bruchfortschrittslinien. Diese sind zweifelsfrei als Schwingstreifen, also als charakteristische Merkmale einer schrittweisen Rissausbreitung zu identifizieren.

**Bild 10:**  
Bruchfläche II, Übergangsbereich  
zwischen den Zonen A und B



**Bild 11:**  
Bruchfläche II, Zone B

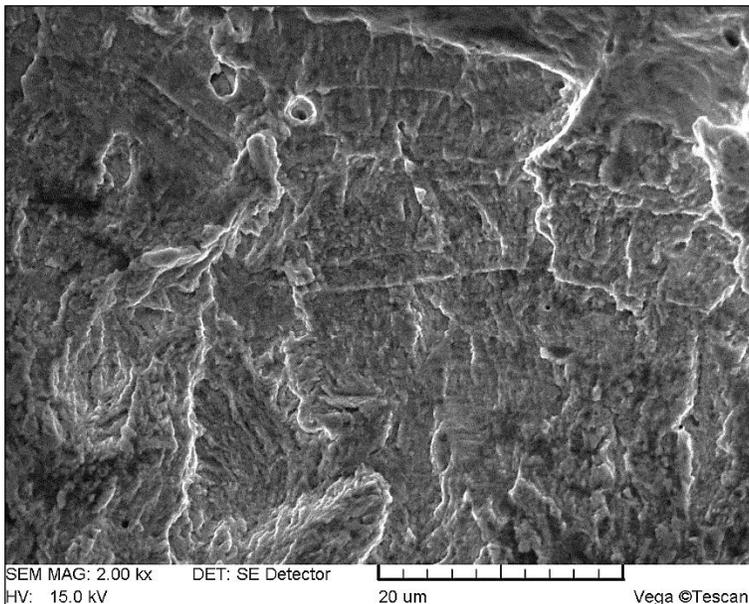
Die in Zone B angefertigte Detailaufnahme (Bild 11) bestätigt, dass dort eine vollkommen andere Morphologie als in Zone A vorliegt. Deutlich zu erkennen ist eine ausgeprägte (Scher-)Wabenstruktur, was als charakteristisches Merkmal eines duktilen Gewaltversagens bekannt ist.



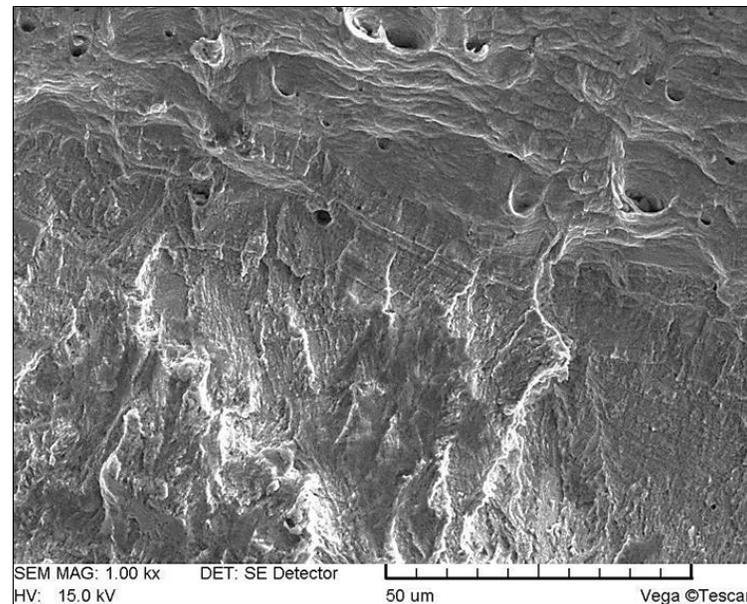
# Mikrofraktographie / Rasterelektronenmikroskopie



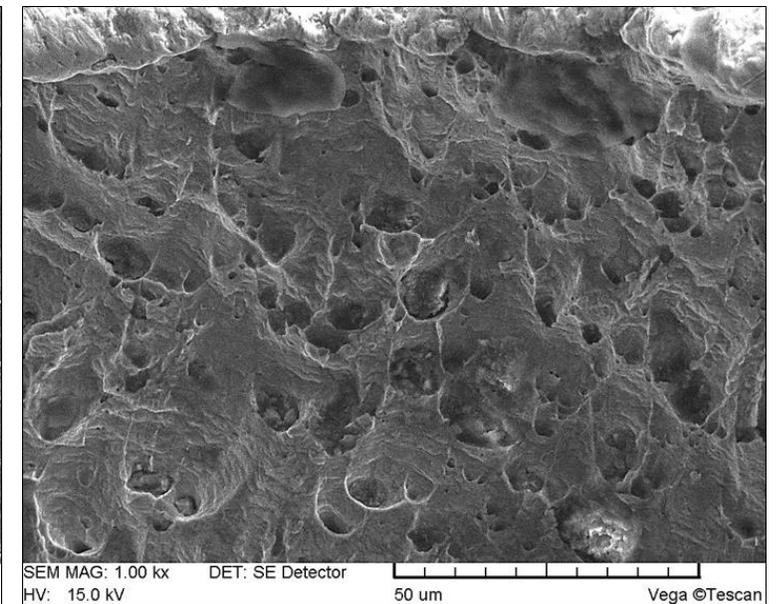
Gleichartige mikrofraktographische Merkmale sind für Bruchfläche III zu ermitteln. Aufgrund der deutlich geringer ausgeprägten Bruchflächenbelegung lassen sich hier größere, zusammenhängende Bereiche mit Schwingstreifen auffinden (Bild 12). Zudem bildet sich der abrupte Wechsel zwischen den unterschiedlichen Morphologien der Bruchzonen A und B deutlich ab (Bild 13). Auch hier stellt die Zone B des Bruchquerschnitts einen zweifelsfreien Restgewaltbruch mit entsprechender Wabenbildung dar (Bild 14).



**Bild 12:** Bruchfläche III, Zone A



**Bild 13:** Übergang zwischen den Zonen A und B



**Bild 14:** Bruchfläche III, Zone B



# Zusammenfassung



Die Untersuchung ergibt zweifelsfrei, dass an allen drei Versagensquerschnitten Schwingbrüche aufgetreten sind. Diese befinden sich jeweils in der Mittenebene der beiden Befestigungsäugen, also den Stellen, in denen aufgrund der geringsten Materialquerschnitte örtliche Spannungmaxima vorliegen. Die Brüche weiten sich unter der gegebenen mechanischen Beanspruchung allmählich über die Bauteilquerschnitte aus, bis schließlich die verbleibenden Restquerschnitte infolge der stetig ansteigenden Spannungen durch Gewaltbruch versagen.

Anhand der Schadensmerkmale kann der zeitliche Schadensanlauf rekonstruiert werden. Zunächst erfolgt eine Rissinitiierung auf der Außenoberfläche des Gabelkopfes an einem der beiden Befestigungsäugen. Die Beanspruchung wird hierbei durch den in die Durchführungsbohrung eingesteckten Schraubbolzen des Schäkels eingeleitet. Die Rissausweitung findet an beiden Tragquerschnitten des Befestigungsauges in zeitlich paralleler Abfolge statt, wobei die als I und II bezeichneten Bruchflächen gebildet werden. Nach Eintritt von Restgewaltbrüchen wird diese Halbschale vollständig abgetrennt.

Die Beanspruchung verlagert sich nun auf das verbleibende Befestigungsauge, wobei die Verkipfung des Schäkels eine asymmetrische Lastabtragung mit nach außenweisendem Biegemoment zur Folge hat. Folgerichtig wird der Schwingbruch III auf der Innenseite des Gabelkopfes initiiert. Der vollständige Bolzenausriss erfolgt schließlich unter starker plastischer Verformung des Befestigungsauges.



# Zusammenfassung / Schlussfolgerung



Die Rissinitiierung wird mit hoher Wahrscheinlichkeit durch den Oberflächenzustand des Gabelkopfes bewirkt. Als kritisch erweisen sich insbesondere die ausgeprägten Riefen im Bereich der Bolzendurchführungen. Diese verschneiden sich in den Rissausgangsbereichen I und II mit der gekrümmten Außenoberfläche des Gabelkopfes, so dass eine erhebliche Kerbwirkung zu unterstellen ist. Dies führt zur lokalen Spannungskonzentration, was unter der dynamischen Beanspruchung eine deutliche Herabsetzung der Anrisstoleranz zur Folge hat.

Die werkstoffkundliche Analyse der Schadensbilder ergibt also, dass der Gabelkopf durch zeitliche fortschreitende Bruchereignisse (Schwingbrüche) versagt hat. Als ursächlich ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ein nicht beanspruchungsgerechter Oberflächenzustand des Bauteils zu ermitteln.

