

ENTGLEISUNG ZUG 66505

Bf Sankt Veit an der Glan

Untersuchungsbericht

Anlage B

Beilagen:

Gutachten **[3]**: Untersuchungsbericht über einen gebrochenen Radsatz, erstellt vom Institut für Schadensanalytik, vom 26. September 2011

Seite B –

2 bis 17

Gutachten **[4]**: Untersuchungsbericht über einen rissbehafteten Radsatz, erstellt vom Institut für Schadensanalytik, vom 14. Oktober 2011

18 bis 31

Gutachten [3]: Untersuchungsbericht über einen gebrochenen Radsatz, erstellt vom Institut für Schadensanalytik, vom 26. September 2011

INSTITUT FÜR SCHADENSANALYTIK
Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr.mont. Karl L. Maurer
Staatl. autorisierter Ziv.-Ing. für Hüttenwesen

Untersuchungsbericht

über einen

gebrochenen Radsatz

Auftraggeber: ÖBB Technische Services GmbH,
Engineering Güterwagen,
Lobmingerstraße 1,
A-8720 Knittelfeld
vertreten durch Hrn. A. Schachner

Auftragseingang: 10.08.2011

Leoben, den 26.09.2011

1. Feststellungen

Das Institut für Schadensanalytik, A-8700 Leoben, wurde von ÖBB Technische Services GmbH, A-8720 Knittelfeld, vertreten durch [REDACTED]; beauftragt einen gebrochenen Radsatz zu untersuchen.

Übersandt wurde ein in mehrere Teile getrennter Radsatz (Abb. 0.1 und 0.2). Der Radsatz (Radsatz Nr. 130591, Werkstoff R7T) wurde im Jahr 2001 gefertigt und hat eine jährliche Kilometerleistung von ca. 60.000 km. Am 22.06.2011 ist der Radsatz in St. Veit an der Glan gebrochen und führte zu einer Entgleisung.

Es sollte geklärt werden, welche Art von Schädigung vorliegt und welche Ursachen das Versagen ausgelöst haben könnten.

2. Untersuchungen

2.1 Chemische Analysen

Die chemische Zusammensetzung des Radwerkstoffes wurde durch Funkenspektroskopie bestimmt. Die Ergebnisse sind Tabelle 1.1 zusammengestellt.

Tabelle 1.1: Chemische Zusammensetzung Werkstoffes der Radscheibe in Gew.-%

Probe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Co
Rad	0.481	0.254	0.73	0.014	0.0073	0.234	0.032	0.0041	0.029	0.066	0.0028

Die chemische Zusammensetzung entspricht dem Werkstoff R7 des UIC-Kodex 812-3, technische Lieferbedingungen für Vollräder aus gewalztem, unlegiertem Stahl für Triebfahrzeuge und Wagen, 5. Ausgabe vom 01.01.1984.

2.2 Mechanische Eigenschaften und Härteprüfung

Aus den Bruchstücken wurden je 3 Zugproben in radialer sowie tangentialer Richtung gefertigt und die mechanischen Eigenschaften bei Raumtemperatur bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt.

Tabelle 2.1: Mechanische Eigenschaften des gebrochenen Radsatzes

Probe	Prüftemperatur [°C]	Streckgrenze Rp _{0,2} [MPa]	Zugfestigkeit Rm [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Brucheinschnürung Z [%]	
tangential	1	428.8	772.9	19.8	49.6	
	2	RT	438.4	782.2	19.6	48.6
	3		407.6	768.4	19.6	48.1
	Mittelwert		424.9	774.5	19.6	48.8
radial	1	367.7	704.2	19.4	41.4	
	2	RT	367.5	703.3	19.5	41.4
	3		370.2	704.9	20.3	42.9
	Mittelwert		368.5	704.1	19.7	41.9

Im UIC Kodex 812-3, technische Lieferbedingungen für Vollräder aus gewalztem, unlegiertem Stahl für Triebfahrzeuge und Wagen, 5. Ausgabe vom 01.01.1984, ist die maximale Zugfestigkeit im Steg laut Fußnote 8 mit 760 N/mm² angegeben. Die radialen Proben aus dem Steg entsprechen diesem Wert.

Die tangentialen Proben wurden aus dem Bereich des Radkranzes ca. 15 mm unterhalb der Lauffläche entnommen. Die Zugfestigkeit liegt unterhalb der im UIC Kodex 812-3 spezifizierten Bandbreite von 820 bis 940 MPa. Die im UIC-Kodex angegebenen Werte sollten jedoch 15 mm unterhalb der originalen Lauffläche entnommen werden, was beim vorliegenden Rad aufgrund mehrfacher Reprofilierung nicht möglich war.

An metallographischen Schliffen wurde zudem die lokale Härte nach Vickers [HV1] geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.2 ersichtlich.

Tabelle 2.2: Ergebnisse der Härteprüfung am Steg

Probe	Härte in [HV1]			Mittelwert [HV1]
Schliff 1	201.1	211.0	207.2	206.4
Schliff 2	194.7	201.8	211.4	202.6

Die lokalen Härtewerte weisen die für diese Prüfung übliche Streuung auf. Sie sind mit den ermittelten Zugfestigkeiten im Steg vergleichbar. Ein Härteverlauf an der

4

Lauffläche wurde ebenfalls angefertigt, um die „zu niedrige“ Zugfestigkeit im Radkranz zu überprüfen. Die Ergebnisse sind in den lichtmikroskopischen Untersuchungen enthalten (siehe auch Abb. 5.10).

2.3 Makroskopische Bruchflächenuntersuchung

Die Bruchflächen wurden makroskopische eingehend untersucht. Abb. 3.1 zeigt die Restbruchfläche, an der erkennbar ist dass der Bruch von der Außenseite des Rades nach innen verlaufen ist. Abb. 3.2 zeigt einen Teil der gebrochenen Radscheibe mit massiver plastischer Verformung und stark verhämmertes Bruchfläche.

In Abb. 3.3 ist jener Teil des gebrochenen Rades abgebildet, an dem wahrscheinlich der Bruch ausgegangen ist in ungereinigtem Zustand. Die Abb. 3.4 und 3.5 zeigen die gereinigte Bruchfläche. An diesen Aufnahmen sind bereits Anzeichen eines Schwingbruches erkennbar, sowie die massive plastischer Verformung und Verhämmertung der Bruchfläche.

2.4 Stereomikroskopische Untersuchungen

Die Bruchflächen sind des weiteren in einem Stereomikroskop untersucht worden. Abb. 4.1 zeigt eine Stelle der Bruchfläche aus Abb. 3.4. Die Abb. 4.2 und 4.3 sind Detailaufnahmen von Abb. 4.1. In Abb. 4.2 ist mit einem roten Pfeil der Bruchverlauf angedeutet, in Abb. 4.3 die Rastlinien durch gestrichelte rote Linien gekennzeichnet.

Die Abb. 4.4 und 4.5 zeigen eine weitere Stelle in zunehmenden Vergrößerungen. In Abb. 4.4 sind die für einen Ermüdungsbruch typischen Schwingstreifen erkennbar, Abb. 4.5 zeigt eine Detailaufnahme des Randes von dem der Ermüdungsriss begonnen hat sich auszubreiten.

Die Abb. 4.6 und 4.7 zeigen Schwingstreifen in zunehmenden Vergrößerungen. In Abb. 4.6 ist die Ausbreitungsrichtung des Risses durch rote Pfeile angedeutet, in Abb. 4.7 die Schwingstreifen durch rote gestrichelte Linien gekennzeichnet.

2.5 Lichtmikroskopische Untersuchungen

Sowohl vom Radkranz sowie von der Bruchfläche wurde eine Probe für einen metallographischen Schliff entnommen. Die radscheibenseitige Bruchfläche ist in zunehmenden Vergrößerungen in Abb. 5.1 bis 5.3 wiedergegeben. Erkennbar ist aufgrund der Laufleistung eine geringfügige plastische Verformung der Oberfläche. Die Abb. 5.4 bis 5.6 zeigen das Grundgefüge des Werkstoffes im Steg in zunehmenden Vergrößerungen. Es handelt sich um ein ferritisch, perlitisches Gefüge mit einer Korngröße von ca. 50 μm . Das Gefüge weist keine Besonderheiten auf und entspricht dem Stand der Technik.

Die Abb. 5.7 bis 5.9 zeigen metallographische Gefügaufnahmen der korrespondierenden, radkranzseitigen Bruchfläche. Deutlich erkennbar ist auch hier die massive plastische Verformung im Randbereich (Abb. 5.8), verdeutlicht durch die gestreckten Körner (Abb. 5.9). Das Grundgefüge ist dem von Abb. 5.4 bis 5.6 vergleichbar.

Die Abb. 5.10 bis 5.14 geben unterschiedliche Stellen des Gefüges an der Lauffläche wieder. Die gesamte Lauffläche zeigt bis in eine Tiefe von ca. 3,5 mm ein ausgeprägtes Umwandlungsgefüge (Abb. 5.10). Das Gefüge enthält körnigen Zementit und wurde durch massiven thermischen Einfluss erzeugt.

In Abb. 5.10 ist ein Härteprofil eingetragen. Die Werte an der Lauffläche liegen bei 320 HV (1030 MPa). Das Umwandlungsgefüge weist eine Härte von ca. 300 HV (960 MPa) auf. Das Grundgefüge zeigt knapp unterhalb der Umwandlungsschicht eine Härte von 260 bis 280 HV (835 bis 900 MPa). Dieser Wert entspricht genau den Sollvorgaben für die Zugfestigkeit des Werkstoffes R7T im UIC-Kodex.

Nahe der Lauffläche sind mehrere Risse, welche alle mit Oxiden gefüllt sind und geringfügige Verzweigungen aufweisen (Abb. 5.11 und 5.12). Der Übergang zwischen Grundgefüge und Umwandlungsgefüge ist in Abb. 5.13 wiedergegeben, das Grundgefüge aus Perlit mit Korngrenzenferrit in Abb. 5.14.


3. Beurteilung

Bei dem vorliegenden Bruch handelt es sich um einen Schwingbruch, welcher von der Innenseite des Radsatzes ausgegangen ist. Erkennbar ist dies einerseits an den auf der Bruchfläche vorhandenen Rastlinien (Abb. 4.3 und 4.7), sowie an der an der außen liegenden Restbruchfläche (Abb. 3.1). Es liegen in einem Bereich von etwa 30 % des Radumfangs zahlreiche Bruchausgänge vor. Die Lage des zeitlich zuerst entstandenen Bruchausganges war aufgrund der massiven Verhämmerung der Bruchfläche nicht mehr feststellbar.

Ein Werkstofffehler als Schadensursache liegt eindeutig nicht vor. Die im Radkranz ermittelten Zugfestigkeitswerte liegen zwar unterhalb des im UIC-Kodex angegebenen Intervalls, sie wurden jedoch aus größerer Tiefe unterhalb der originalen Lauffläche und näher dem Steg des Rades entnommen (zwangsläufig aufgrund mehrere Reprofilierungen). Chemische Zusammensetzung sowie Festigkeiten im Radkranz und Steg des Rades entsprachen zum Zeitpunkt der Fertigung dem UIC-Kodex 812-3.

Auffallend beim vorliegenden Schaden ist, dass die Lauffläche offensichtlich durch die Klotzbremsen eine Gefügeumwandlung bis in 3 mm Tiefe erfahren hat. Dort mussten im Betrieb zumindest zeitweise und örtlich Temperaturen von bis über 800 °C geherrscht haben. Andernfalls ist die Gefügeänderung nicht erklärbar. In wie weit diese Gefügeänderung mit dem Schaden in einem Zusammenhang steht ist derzeit unklar.

Leoben, den 26.09.2011



(Univ.-Prof. Dr. Karl L. Maurer)



(Ao. Univ.-Prof. Dr. Gregor Mori)

7



Abb. 0.1



Abb. 0.2

8



Abb. 3.1



Abb. 3.2



Abb. 3.3

9



Abb. 3.4



Abb. 3.5

10



Abb. 4.1

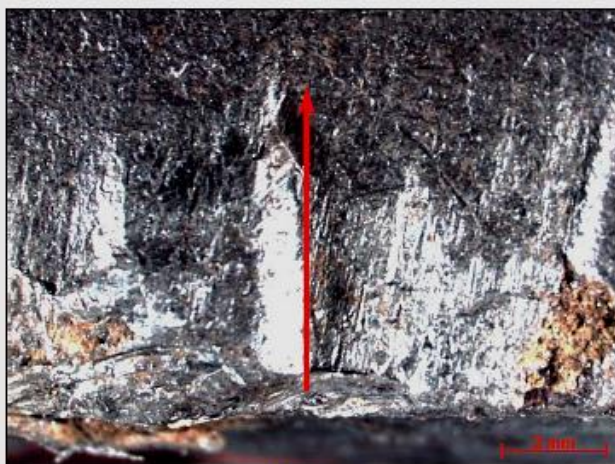


Abb. 4.2

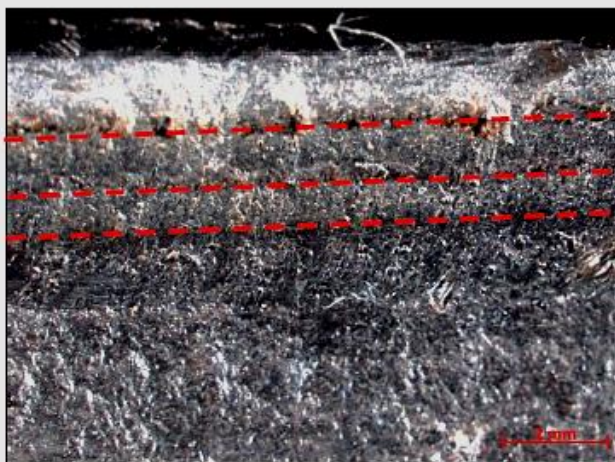


Abb. 4.3

11

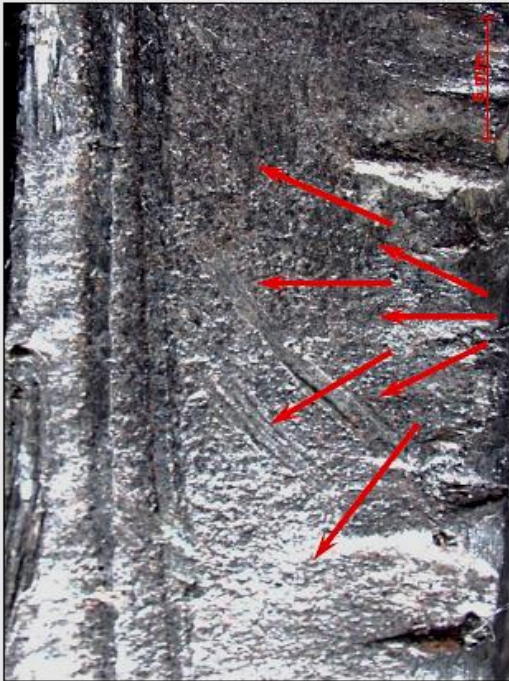


Abb. 4.6

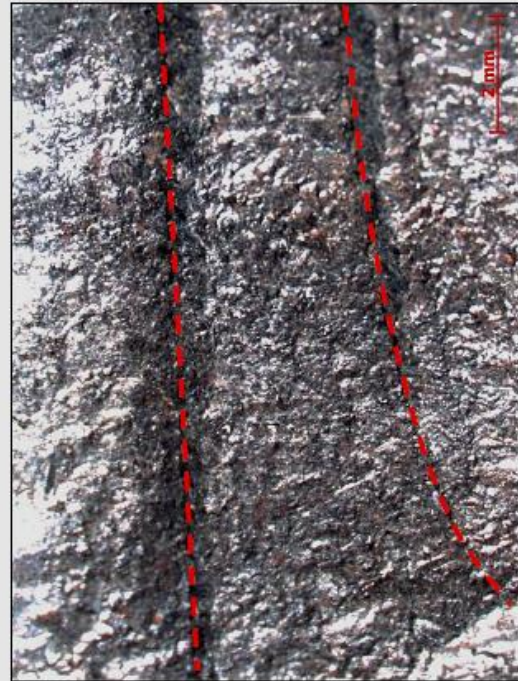


Abb. 4.7



Abb. 4.4



Abb. 4.5

12



Abb. 5.1



Abb. 5.2



Abb. 5.3

13

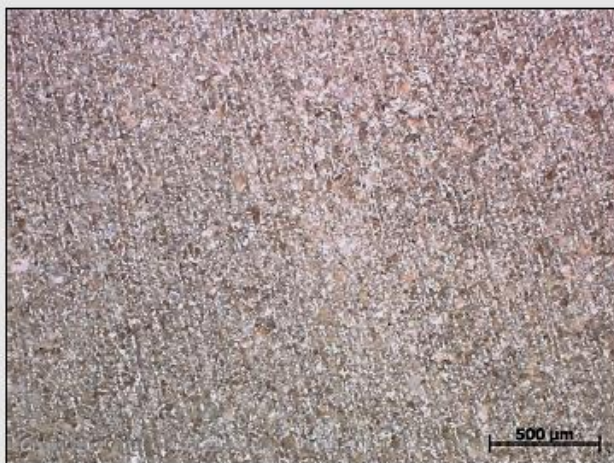


Abb. 5.4

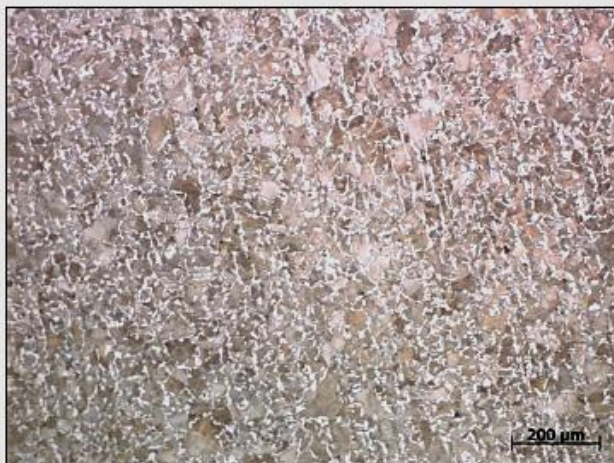


Abb. 5.5

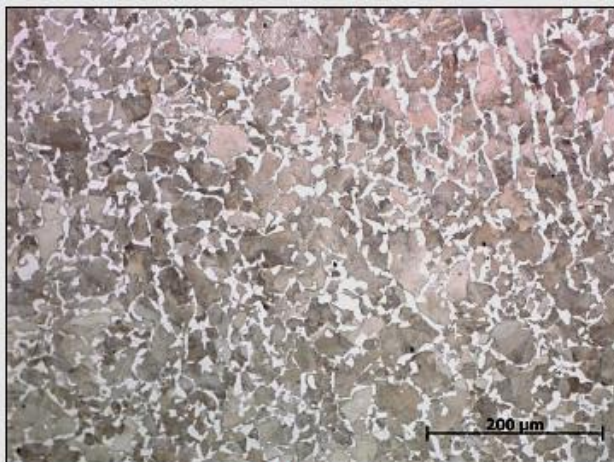


Abb. 5.6

14

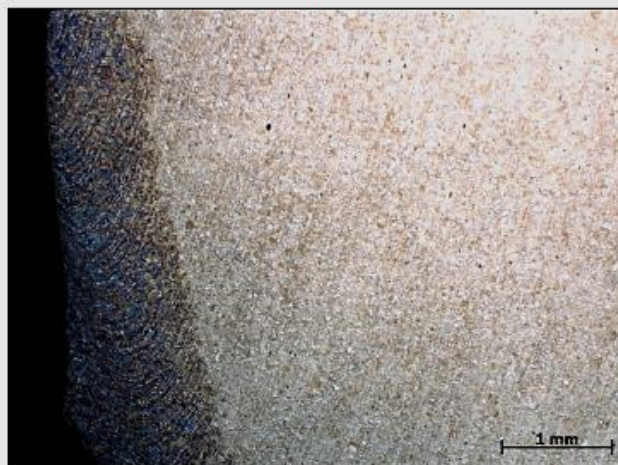


Abb. 5.7

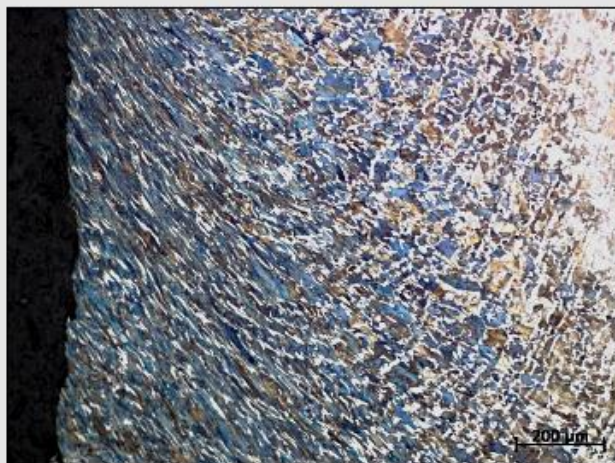


Abb. 5.8



Abb. 5.9

15

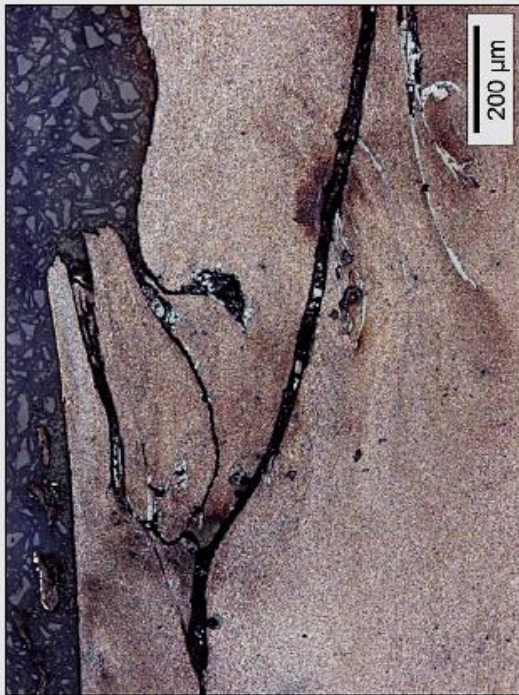


Abb. 5.11



Abb. 5.12

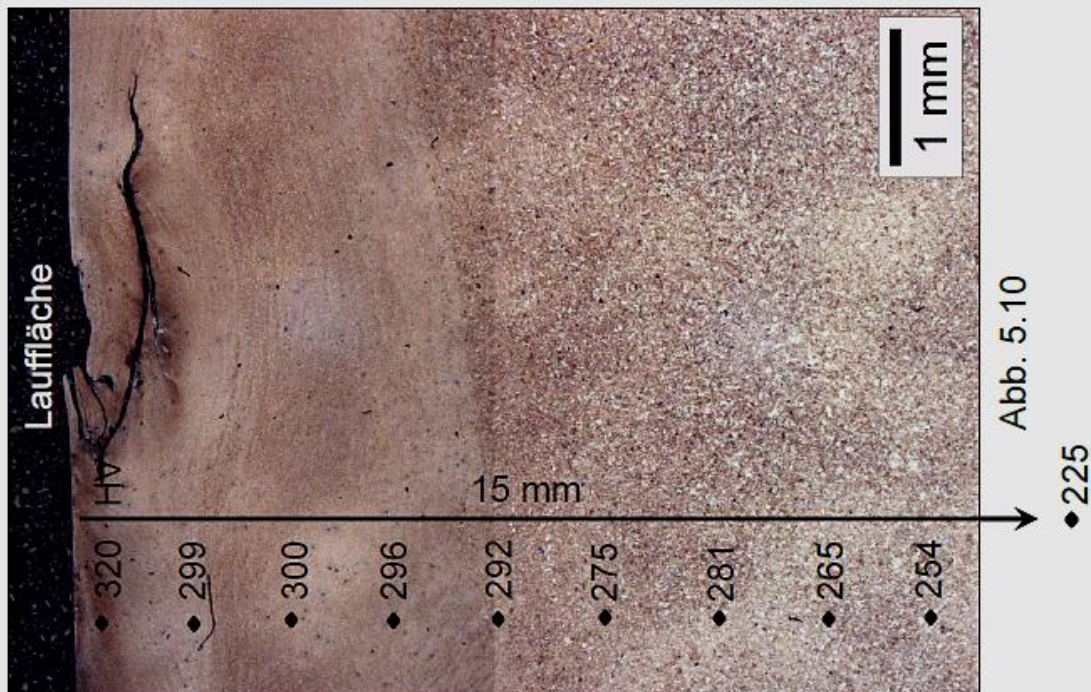




Abb. 5.13

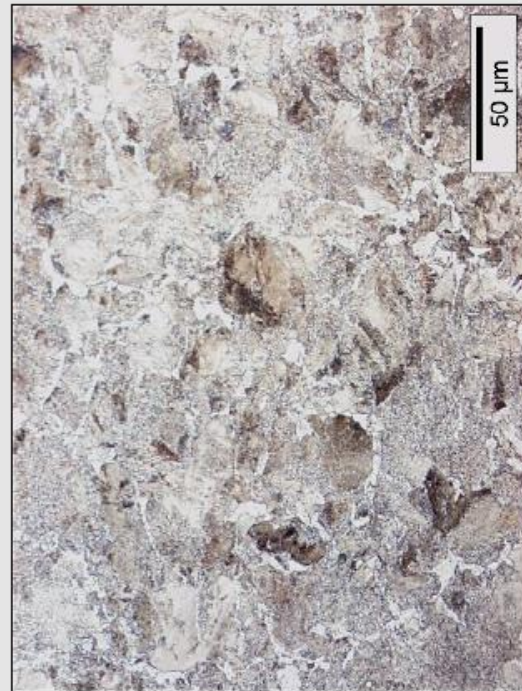


Abb. 5.14

Gutachten [4]: Untersuchungsbericht über einen rissbehafteten Radsatz, erstellt vom Institut für Schadensanalytik, vom 14. Oktober 2011

INSTITUT FÜR SCHADENSANALYTIK
Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr.mont. Karl L. Maurer
Staatl. autorisierter Ziv.-Ing. für Hüttenwesen

Untersuchungsbericht

über einen

rissbehafteten Radsatz

Auftraggeber: ÖBB Technische Services GmbH,
Engineering Güterwagen,
Lobmingerstraße 1,
A-8720 Knittelfeld
vertreten durch Hrn. Dipl.-Ing. A. Schachner

Auftragseingang: 26.09.2011

Leoben, den 14.10.2011

1. Feststellungen

Das Institut für Schadensanalytik, A-8700 Leoben, wurde von ÖBB Technische Services GmbH, A-8720 Knittelfeld, vertreten durch Hrn. Dipl.-Ing. A. Schachner, beauftragt ein rissbehaftetes Rad zu untersuchen.

Übersandt wurde ein Radsegment (Abb. 0.1) aus dem Werkstoff R7T. Das Radsegment weist unterhalb des Radkranzes einen ca. 35 cm langen Riss auf (Abb. 0.2 und 0.3).

Es sollte geklärt werden, welche Art von Schädigung vorliegt und welche Ursachen den Riss ausgelöst haben könnten.

2. Untersuchungen

2.1 Makroskopische Bruchflächenuntersuchung

Der Riss ist in 3 Teilen aus dem Rad herausgetrennt und geöffnet worden. Das erste Teilstück des Risses ist in Abb. 1.1 zu sehen, Abb. 1.2 zeigt ein Detail der Bruchfläche. Erkennbar sind mehrere Bruchausgänge, sowie ein linsenförmiger Bruchverlauf. Bei der hellen Fläche handelt es sich um den bei der Öffnung des Risses herbeigeführten Gewaltbruch. Abb. 1.3 und 1.4 zeigen Teilstück 2 des Risses in Überblick und Detail. Das Schadensbild unterscheidet sich hier nicht von Teilstück 1. Einen Überblick über Teilstück 3 des Risses gibt Abb. 1.5. Ein Detail der linsenförmigen Bruchverläufe ist in Abb. 1.6 wiedergegeben. Auch dieser Teilbereich zeigt dasselbe Schadensbild wie die anderen beiden Teilstücke.

2.2 Stereomikroskopische Untersuchungen

2 Teilbereiche sind in einem Stereomikroskop genauer untersucht worden. Abb. 2.1 zeigt einen Teil der Bruchfläche von Teilstück 1 mit einigen Bruchausgängen. In den Abb. 2.2 und 2.3 sind Teilbereiche in zunehmender Vergrößerung wiedergegeben. In Abb. 2.2 sind die für einen Ermüdungsbruch typischen Rastlinien durch gestrichelte

3

rote Linie hervorgehoben. In Abb. 2.3 ist der Verlauf des Risses durch rote Pfeile angedeutet.

Dasselbe Schadensbild weist die Bruchfläche auf Teilstück 2 auf (Abb. 2.4). In Abb. 2.5 sind wiederum Rastlinien hervorgehoben und in Abb. 2.6 der Rissverlauf durch rote Pfeile angedeutet.

2.3 Härteprüfung

An einem metallographischen Schliff ist von der Lauffläche die Härte in radialer Richtung geprüft worden. In Abb. 3.1 ist das Härteprofil wiedergegeben. Die Härte weist über den gesamten Verlauf konstante Werte auf. Die Abweichungen befinden sich im üblichen Toleranzbereich. Aus den geprüften Werten kann die Zugfestigkeit des Werkstoffes abgeschätzt werden, die bis zu einer Tiefe von etwa 3 mm zwischen 830 und 840 MPa liegt. Danach fällt die Zugfestigkeit leicht auf etwa 790 MPa ab. Die aus der Härteprüfung abgeschätzten Zugfestigkeiten entsprechen den im UIC-Kodex 812-3 angegebenen Werten des Werkstoffes R7T.

2.4 Lichtmikroskopische Untersuchungen

Sowohl vom Radkranz wie auch von der Lauffläche wurde ein metallographischer Schliff hergestellt. Der Querschnitt des Radkranzes ist in Abb. 4.1 wiedergegeben. Es ist keine großflächige Gefügeumwandlung infolge thermischer Beeinflussung erkennbar. Der rote Pfeil markiert die Stelle des Risses. Das Gefüge im gesamten Querschnitt des Radkranzes ist homogen ausgebildet und weist keine Auffälligkeiten auf.

Die Abb. 4.2 bis 4.4 zeigen den Randbereich der Lauffläche in zunehmenden Vergrößerungen. Das Gefüge ist für einen Werkstoff dieser chemischen Zusammensetzung ein typisch perlitisches Gefüge mit Anteilen von Korngrenzferrit. Bei hoher Vergrößerung (Abb. 4.4) ist im Randbereich eine sehr dünne (ca. 1 μm) Schicht erkennbar. In diesem Bereich ist deutlich plastische Verformung sowie ein geringer thermischer Einfluss erkennbar.

4

Das Gefüge des Grundmaterials ist in zunehmenden Vergrößerungen in den Abb. 4.5 bis 4.7 wiedergegeben. Das Gefüge ist ebenfalls ein perlitisches Gefüge mit Kongrenzferrit. Das Gefüge weist keine Auffälligkeiten auf und entspricht dem Stand der Technik.

3. Beurteilung

Bei dem Riss handelt es sich um einen Schwingbruch. Dies ist an den deutlich ausgeprägten Rastlinien und dem linsenförmigen Bruchverlauf erkennbar. Anhand der Linsenform kann auf eine einseitige Biegewechselbeanspruchung geschlossen werden. Auffällig ist die für einen Schwingbruch hohe Anzahl an Rissausgängen. Der Riss befand sich auf der Radinnenseite.

An der Lauffläche des rissbehafteten Rades sind noch deutlich Spuren einer Reprofilierung erkennbar. Das Rad dürfte vor kurzer Zeit mechanisch bearbeitet worden sein. Es ist nicht auszuschließen, dass auf der Lauffläche eine Gefügeumwandlung infolge thermischer Beeinflussung vorgelegen hat, wie es im Gutachten vom 23.09.2011 festgestellt wurde. Sie ist jedoch nicht mehr vorhanden. Aufgrund dessen, dass keine Gefügeumwandlung mehr erkennbar ist, sind auch die Ergebnisse der Härteprüfungen als konstant anzusprechen. Da es sich bei dem vorliegenden Rad um ein radkranzvergütetes Rad handelt, ist der leichte Abfall der Härte mit zunehmender Tiefe als normal anzusprechen. Die aus den Härteprüfungen abgeschätzten Zugfestigkeiten entsprechen auch den im UIC-Kodex 812-3 angegebenen mechanischen Eigenschaften des Radwerkstoffes.

Ein Werkstofffehler ist aufgrund der vorliegenden Ergebnisse auszuschließen.

Die Lage des Risses ist eher ungewöhnlich, vor allem die vielen, in knappen Abständen vorliegenden Bruchausgänge. Eine Gefügeumwandlung aufgrund thermischer Beeinflussung, wie im Bericht vom 23.09.2011 festgestellt, konnte aufgrund der Reprofilierung nicht nachgewiesen werden. Es ist ebenfalls nicht auszuschließen, dass die festgestellte Schicht von der Reprofilierung selbst stammt. Die Lage des Schwingrisses ist, wie in Abb. 4.1 erkennbar, an einem Kerbgrund gelegen. Es ist möglich, dass es in diesem Bereich aufgrund von Schwingungen,

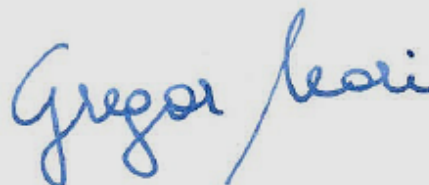
5

Unwucht oder zu hoher mechanischer Belastung (z.B. Überladung oder zu hohe Fahrgeschwindigkeit) zu lokalen Spannungsüberhöhungen gekommen ist. Durch derartige Spannungsüberhöhungen, welche vor allem an Kerbgründen auftreten, wurde die Schwingfestigkeit des Werkstoffes überschritten und die Schwingbrüche induziert. Wäre der Riss nicht bei der Reprofilierung erkannt worden, wäre es ebenfalls zu einem Bruch des Rades (siehe Gutachten vom 23.09.2011) gekommen.

Leoben, den 14.10.2011



(Univ.-Prof. Dr. Karl L. Maurer)



(Ao. Univ.-Prof. Dr. Gregor Mori)

6



Abb. 0.1



Abb. 0.2



Abb. 0.3

7



Abb. 1.3

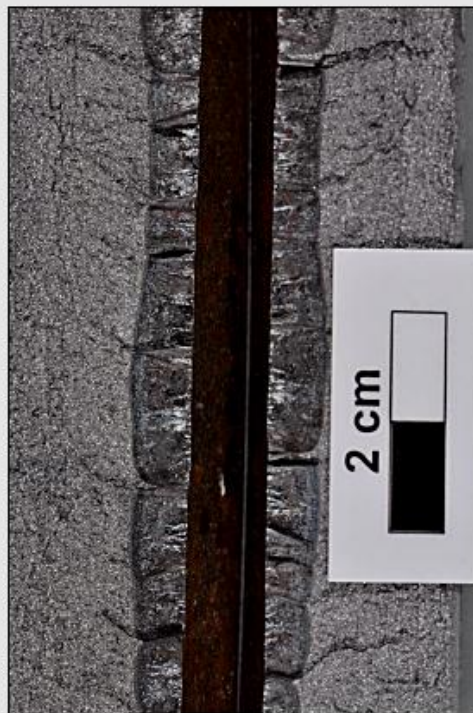


Abb. 1.4



Abb. 1.1



Abb. 1.2

8



Abb. 1.5

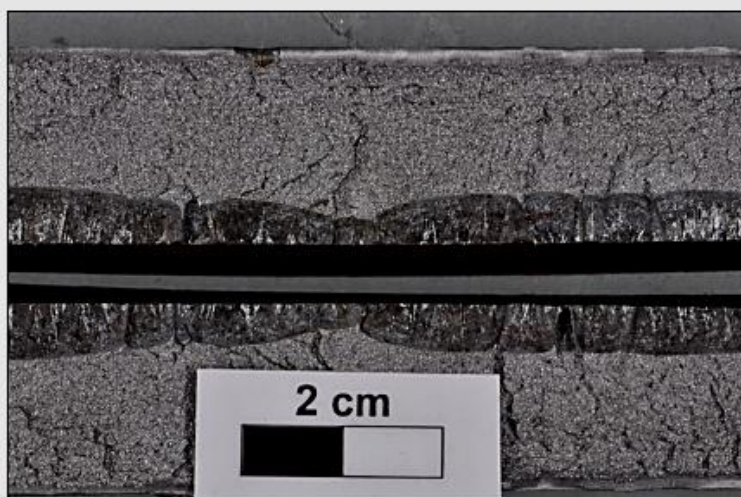


Abb. 1.6

9



Abb. 2.1



Abb. 2.2



Abb. 2.3

10



Abb. 2.4



Abb. 2.5

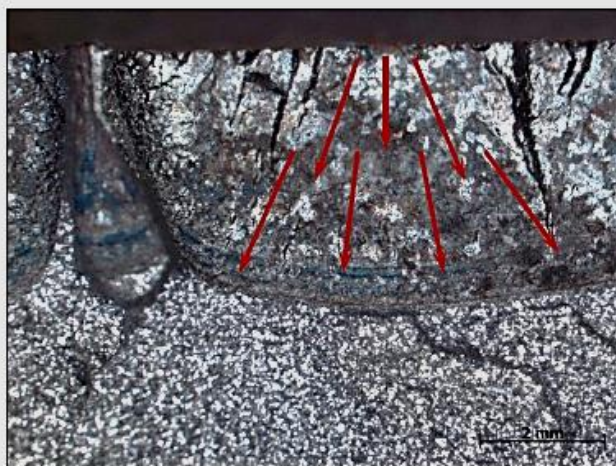
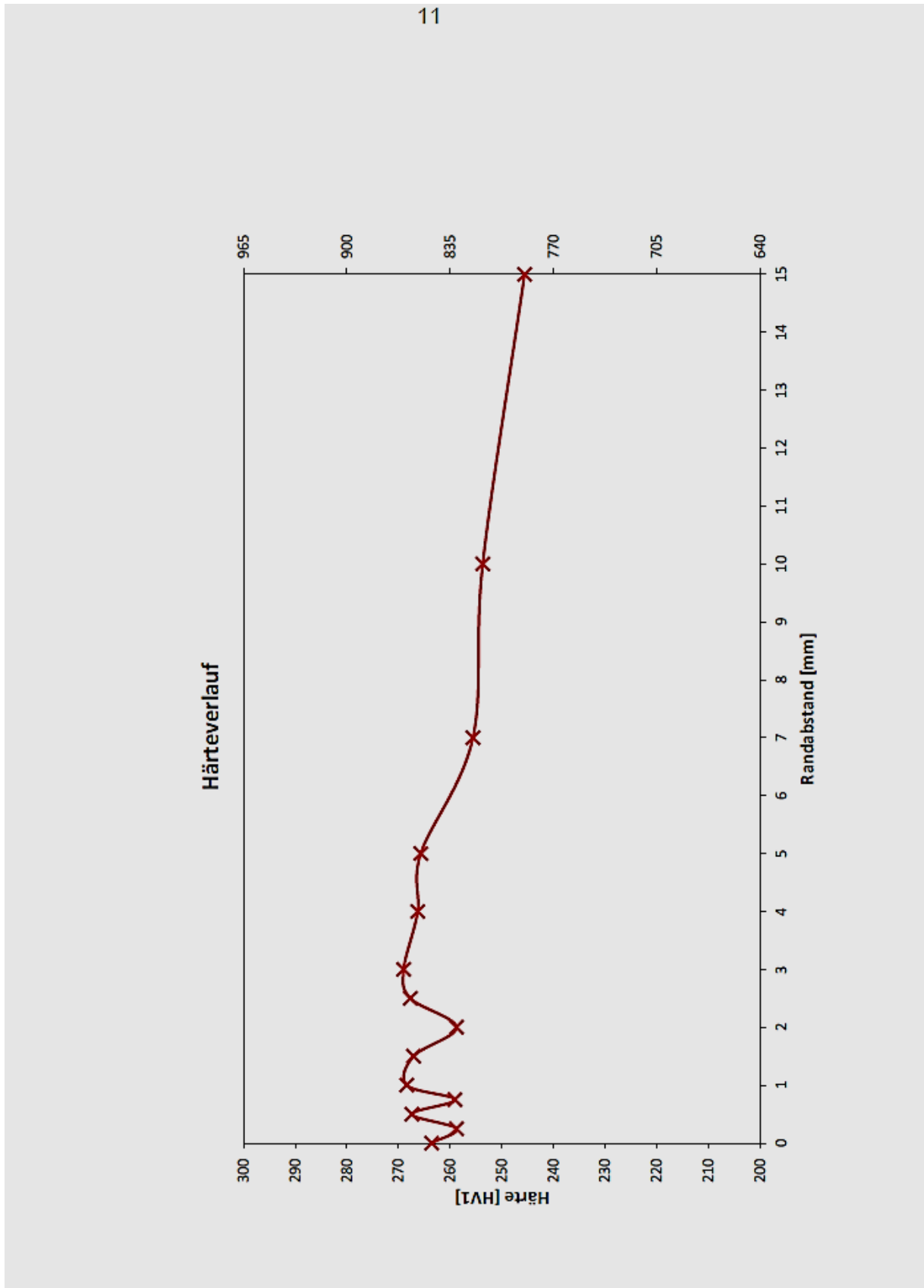


Abb. 2.6



12



Abb. 4.1

13

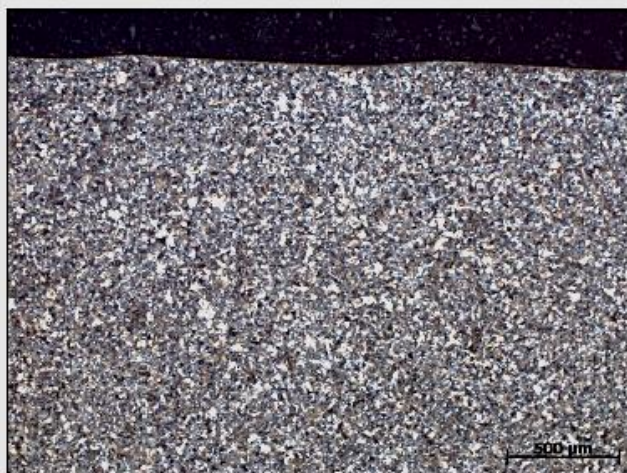


Abb. 4.2



Abb. 4.3

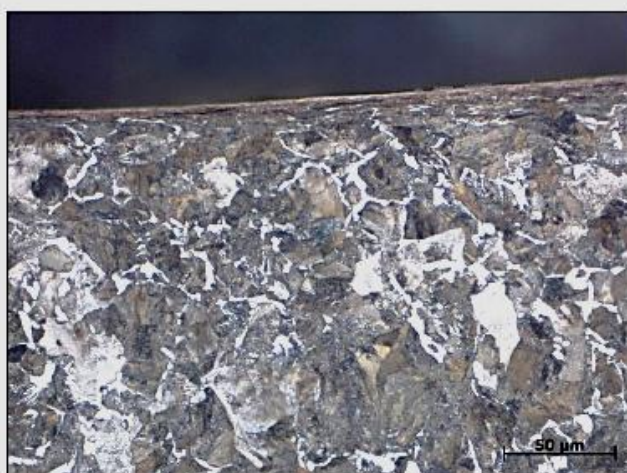


Abb. 4.4

14



Abb. 4.5

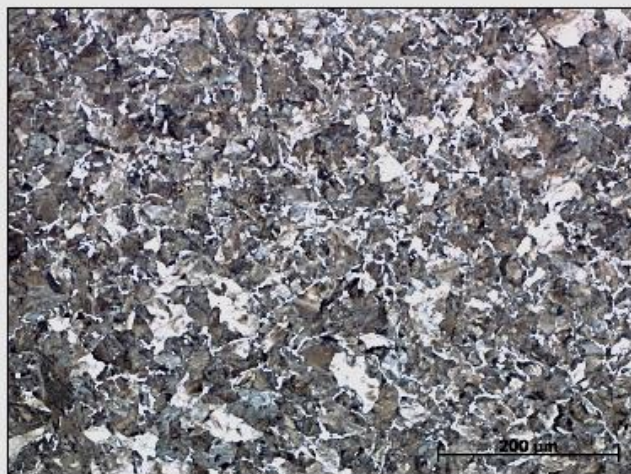


Abb. 4.6



Abb. 4.7