

# **ZUM BERICHT DER BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND - PRÜFUNG (BAM)**

BAM-V.3/566 „SCHADENSANALYSE RADSATZWELLE ICE-3“, Vorläufige Ergebnisse Stand 2008-09-22; Überarbeitung 2008-09-29)

## **1. Einleitung**

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der Untersuchungen zusammen, die im Auftrag der Staatsanwaltschaft Köln zur Klärung der Unfallursache der Entgleisung des ICE 518 durchgeführt wurden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind auf 81 Folien der „Vorab- Präsentation EBA, DB 2008-09-24“ (Verfasser: Klinger, Bettge und Häcker) wiedergegeben.

## **2. Ergebnisse**

In dem Bericht sind die Ergebnisse der Untersuchungen der gebrochenen Radsatzwelle aufgeführt, die sich auf die fraktographischen Analysen (Ermittlung der Bruchart und der Lage des Rissstartbereichs, Beschreibung der Bruchablaufs), metallographischen Analysen (Werkstoffdaten und Zustand) und die Überprüfung der Bauteilgeometrie und der Oberfläche im Bruchbereich erstreckten.

Aus den Unterlagen ist zu entnehmen, dass der Bruch im Korbbogenradius der Mulde zwischen den freien Sitz und dem Radsitz der Welle aufgetreten ist. Der Rissstart liegt an der Stelle der Spannungskonzentration am Radiusauslauf vom freien Sitz zur Mulde.

Es handelt sich eindeutig um einen Ermüdungsbruch (Schwingbruch), verursacht hauptsächlich durch Umlaufbiegebelastung infolge einer im Vergleich zur Schwingfestigkeit der Welle zu hohen Betriebsbeanspruchung.

Der Rastlinienmuster vor dem Restgewaltbruch weist auf einen Restbruchablauf mit der Schlussfolgerung, dass der Bruch der Welle „spätestens beim letzten Beschleunigungsvorgang in Richtung Köln und vor der Einfahrt nach Köln Hbf eingetreten ist“.

Zum Vergleich ist der Rastlinienmuster bei der gebrochenen Treibradsatzwelle von ICE 3 fast identisch mit dem Bruchbild der Treibradsatzwelle von ICE TD, der zur Entgleisung des Zuges am 02.12.2002 zwischen Gutenfürst und Hof geführt hat; es handelt sich dabei um die Radsatzwelle, die bei etwa gleichen Abmessungen auch aus dem Werkstoff 34 CrNiMo 6 gefertigt wurde, wie die gebrochene Radsatzwelle von ICE 518.

Die mechanisch-technologischen Prüfungen sowie die chemische Analyse zeigen, dass die mechanischen Werkstoffkennwerte (Werkstofffestigkeit, Duktilität, Kerbschlagarbeit) als auch die Werkstoffzusammensetzung (Anteile einzelner Elemente C, Cr, Ni, Mo, Si, Mn, P, S) die Anforderungen für den Werkstoff 34 Cr Ni Mo 6 erfüllen.

Aufgrund metallographischer Analysen sind die Anforderungen an den Werkstoff bzgl. Härte, Vergütungsgefüge und Korngröße in Ordnung.

Dagegen ist die Reinheit des Werkstoffs im bruchnahen Bereich nicht in Ordnung. Es wurden in diesem Bereich die Einschlüsse vom Silikat-Typ von der Länge bis etwa 0,7 mm (mittels CT-Messung wurden die Einschlüsse sogar bis etwa 0,9 mm gefunden) mit relativ geringer Dicke (kleiner als 0,05 mm) ermittelt. Daraus wird gefolgert, dass die Anforderungen an den Reinheitsgrad in der Nähe der Bruchflächen nicht erfüllt werden.

Es wird im Bericht aufgeführt, dass der Nachweis einer rissursächlichen Inhomogenität an der Rissstartstelle, aufgrund der starken Beschädigungen der Bruchfläche, nicht möglich war, aber dass „Einschlüsse, wie sie in der Nähe der Rissstartstelle nachgewiesen wurden, als Rissstarter fungiert haben könnten“; es wird anschließend empfohlen durch experimentelle Untersuchungen den Einfluss der „großen nichtmetallischen Einschlüsse auf die Schwingfestigkeit bei >106 Lastspiele für 34 Cr Ni Mo 6“ zu ermitteln.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Bauteilgeometrie und Oberfläche der Mulde zeigen, dass die nach Zeichnung geforderten Werte sowie die geforderte Oberflächenrauheit in den untersuchten Bereichen der Mulde ohne Sekundärschäden eingehalten sind. Dagegen wurden an der Oberfläche die Ungenzen gefunden, die deutlich größer sind als die geforderte und vorliegende Rauheit.

Zum Schadensablauf sind folgende Daten vorgelegt:

- Betriebsbeginn im Tz ICE 0334 Wg. 403 034- 2 als Radsatz 3 ab etwa November 2001.
- Letzte Ultraschallprüfung am 27.03.2008 bei einer Laufleistung von 2,85 Millionen km.
- Letzte Sichtprüfung 2 Tage vor dem Restgewaltbruch am 07.07.2008. Restgewaltbruch (Durchbruch) vor Köln am 09.07.2008, dabei Entstehung der Sekundärschäden durch Reiben der beiden Bruchflächen aufeinander.
- Entgleisung bei Ausfahrt aus Köln Hbf bei einer Laufleistung von etwa 3 Millionen km am 09.07.2008 und dabei Entstehung der Tertiärschäden an den Bruchkanten durch wiederholten schlagartigen Kontakt bei der Fahrt mit dem entgleisten Radsatz.

Basierend auf den Ergebnissen der erfolgten Untersuchungen wurde die Hypothese zur Schadensursache für den Bruch der Treibradsatzwelle von ICE 518 aufgestellt:

Für den Bruch der Radsatzwelle wird ein nicht rechtzeitig erkannter Schwingriss verantwortlich gemacht, der hervorgerufen wurde durch

- konstruktiv oder/und betriebsbedingte zu hoch ausgenutzte Welle hinsichtlich der Betriebsfestigkeit,
- hohe Betriebslastspielzahl und

- unzulässig große nichtmetallische Einschlüsse im Werkstoff dicht unter und an der Oberfläche der polierten Mulde.

### 3. Hinweise zum Bericht

Obwohl im Bericht keine Angaben über die durch Konstruktion bzw. Betriebseinsatz zu erwartende Beanspruchung in dem Bruchquerschnitt angegeben sind, ist der Hinweis auf die konstruktive Auslegung bzw. vorliegende Betriebsbeanspruchung als eine der Bruchursachen als richtig zu betrachten.

Es ist auch zutreffend, dass die Einschlüsse im Werkstoff, die in den hochbeanspruchten Bereichen der Radsatzwelle im oberflächennahen Bereich vorliegen, insbesondere wenn sie quer zur Längsachse der Welle orientiert sind, mit zunehmender Größe die Schwingfestigkeit verringern.

Ob und in welchem Umfang die gefundenen Einschlüsse zur Minderung der Schwingfestigkeit beitragen, gegenüber der anhand von Versuchen mit den aus 34CrNiMo6 gefertigten Wellen von ICE 3 ermittelten Schwingfestigkeit (die zur Bemessung der Radsatzwellen zugrundegelegt wird) muss überprüft werden. Dies ist auch in dem BAM Bericht vorgeschlagen.

Die vorgenommene Betriebsfestigkeitsbewertung der Treibradsatzwelle von ICE 518, ausgehend von den in der Norm EN 13104 vorliegenden Belastungsdaten, der Abmessungen und der konstruktiven Auslegung der Treibradsatzwelle, der Angaben zu den gemessenen Betriebsbeanspruchungen der Treibradsatzwelle [1] und der Schwingfestigkeit [2] resultiert in einer mindestens doppelt so hoher Lebensdauer im Vergleich zu der erreichten. Das bedeutet, dass entweder die Betriebsbeanspruchungen höher sind als nach [1] abgeleitet, oder die Schwingfestigkeit niedriger als angenommen ist. Ob diese relativ kurze Lebensdauer bis zum Bruch (etwa 3 Millionen km bei einer Einsatzzeit von etwa 7,7 Jahren entsprechend 1,1 Milliarden Lastspiele) durch die festgesellte Einschlüsse oder eventuell durch eine höhere als nach [1] abgeleitete Betriebsbeanspruchung verursacht wurde, muss noch überprüft werden. Dafür werden die Angaben über die Unrundheit (Höhenschlag) der Räder der gebrochenen Radsatzwelle vermisst, die am besten vor dem Abpressen der Räder von den Radsatzteilen zu ermitteln wäre, und die möglicherweise zur Erhöhung der Betriebsbeanspruchung geführt hat. Es ist zu berücksichtigen, dass die festgestellte Werkstoffinhomogenität nur mit einem hohen Fertigungs- und Qualitätssicherungsaufwand sicher ausgeschaltet werden kann. Es ist deswegen zu überlegen, ob es nicht sinnvoller und auch wirtschaftlicher wäre, durch eine zutreffende konstruktive Umgestaltung und Werkstoffwahl bzw. durch geeignete fertigungstechnische Maßnahmen, die Betriebsfestigkeit der Radsatzwelle zu erhöhen.

Wenn aber von der vorliegenden Gestalt der Radsatzwelle und dem Werkstoff ausgegangen wird, kann durch eine Erhöhung der Wandstärke der Welle von etwa 9% (DRadsitz etwa 195 mm anstatt 179 mm und DMulde etwa 174 mm anstatt 160 mm) die geforderte Lebensdauer von 15 Millionen km erzielt werden. Dadurch wird es möglich die Zeit- und Kostenaufwendigen Ultraschall- Risskontrollen auf sinnvolle Inspektionsintervalle zu reduzieren.

Reinheim, 11.11.2008

Prof. Dr.-Ing. Vatroslav Grubisic

[1] Traupe, M.; Meinen, H.; Zenner, H.: „Sichere und wirtschaftliche Auslegung von Eisenbahnfahrwerken“, Abschlussbericht BMBF-Projekt 19 P0061-Band I. TU Clausthal, Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB), Dezember 2004.

[2] Grubisic, V.; Fischer, G.: „Procedure for reliable durability validation of rail axles“ (Verfahren für die zuverlässige Auslegung von Schienenfahrzeugachsen). Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 2006, 37, No. 12, S. 973-982.