

## **ENTGLEISUNG ZUG 66505**

### **Bf Sankt Veit an der Glan**

### **Untersuchungsbericht**

### **Anlage E**

#### **Beilagen:**

Seite E –

Gutachten [7]: Analyse der Zerstörung eines Vollrades BTG, das bei der ÖBB an einem Fahrzeug des Typs Uacns betrieben wurde, erstellt vom Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut, erstellt, im Februar 2012 ..... 2 bis 31

**Beilage Gutachten [7]: Analyse der Zerstörung eines Vollrades BTG, das bei der ÖBB an einem Fahrzeug des Typs Uacns betrieben wurde, erstellt vom Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut, erstellt, im Februar 2012**



Institut für Materialphysik der Akademie der  
Wissenschaften der Tschechischen Republik,  
öffentliches Forschungsinstitut

# **ANALYSE DER ZERSTÖRUNG EINES VOLLRADES BTG, DAS BEI DER ÖBB AN EINEM FAHRZEUG DES TYPUS UACNS BETRIEBEN WURDE**

Brno, Februar 2012

Forschungsbericht  
Auftrag 12 75789/JR/

S. 2/29

Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der  
Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut

**Auftraggeber:** Bonatrans Group a.s.  
Bohumín  
Revoluční 300  
735 94 Bohumín

**Bearbeiter:** Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der  
Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut  
Žižkova 22,  
616 62 Brno

Verantwortlicher Mitarbeiter  
des Bearbeiters:

Prof. RNDr. Ludvík Kunz, CSc.

Autoren des Berichts

Prof. RNDr. Ludvík Kunz, CSc.  
Doc. RNDr. Petr Lukáš, CSc.

Ing. Pavel Čupera  
Jana Hirschová

Direktor der bearbeitenden Arbeitsstelle:

Doc. RNDr. Petr Lukáš, CSc.

Berichtsnummer: VZ981/1131

Brno, Februar 2012

## 1. Einführung und Aufgabe

Gegenstand dieser Studie ist die Fortsetzung in der Begutachtung von Rissen, die in Scheiben von Eisenbahnvollrädern angezeigt wurden. Im vorhergehenden Gutachten [1] wurde eine Untersuchung des Defekts eines Vollrades der BONATRANS GROUP a.s., das bei der ÖBB an einem Fahrzeug des Typs Uacns betrieben wurde, durchgeführt. Im Bericht wurde eine Bewertung von Rissen am Rad mit der lfd. Nr. 103 aus der gelieferten Charge von 363 St. Rädern der Schmelze Nr. 38 249, Qualität R7T nach der Norm UIC 812-3, Zeichnungs-Nr. 455.0.212.000.25, Änderung c. durchgeführt (Dieses Rad wird im Folgetext als Rad Nr. 1 bezeichnet). Die Zerstörung wurde als Band tangentialer Risse auf dem gleichen Radius des Rades, verteilt über den gesamten Umfang, charakterisiert. Die durchgeführte Untersuchung des Bruchs führte zu der Schlussfolgerung, dass es sich um eine Beschädigung durch die Initiierung und Erweiterung von Ermüdungsrissen handelt. Zur Initiierung kam es mehrmals, über einen bedeutenden Teil des Umfangs der inneren Oberfläche der Radscheibe. Die Ermüdungsbruchflächen waren durch eine Schicht von Korrosionsprodukten verdeckt, welche eine Verbreitung der Risse unter erhöhten Temperaturen anzeigen. Die Risse verbreiteten sich in der Perlit-Ferrit-Struktur, welche keine offensichtlichen Änderungen (Degradierung) in Folge der Einwirkung einer erhöhten Temperatur aufzeigt. An der Stelle der Initiierung der Risse wurden keine Defekte der Struktur sowie auch keine Spannungskonzentratoren gefunden.

Die Aufgabe für die Fortsetzung der Expertise ist nachfolgende: Auf einem Teil des Rades mit der lfd. Nr. 364, Schmelze-Nr. 36904, gleiches Design wie Rad 1, welches im Folgetext als Rad Nr. 2 bezeichnet wird, einen

- 1) Nachweis und eine Analyse der Risse in der Radscheibe durchführen. Begutachtung der Risse, eventuell der Form ihrer Verbreitung und die Beziehung zur Mikrostruktur des Materials,
- 2) Vergleich mit den im Bericht [1] präsentierten Ergebnissen durchführen,
- 3) das Wesen der Oberflächenmängel in der Radscheibe bewerten,
- 4) einen Prüfkörper aus dem Material des begutachteten Rades herstellen und mechanische Referenzprüfungen für einen Vergleich mit dem in der UIC 812-3, Anlage 1 dieses Berichts, aufgeführten Grenzwerten durchführen.

## 2. Geliefertes Material zur Expertise

Die ÖBB lieferte ein Rad mit einem durch Brennschneidgerät abtrennten Segment, auf welchem sie durch die MPI-Methode Risse auf der Innenseite der Scheibe in einer Entfernung von 58 mm unter Kante des Innendurchmessers des Radkranzes entdeckt hat. Die BONATRANS GROUP a.s. führte die MPI-Methode an der gekennzeichneten Stelle (abgeschliffen) durch, siehe Protokoll in der Anlage. Die BONATRANS GROUP a.s. lieferte

außer dem Segment mit dem Fehler auch ein Halbzeug für die Durchführung von mechanischen Prüfungen nach UIC 812-3. Abnahme der Halbzeuge in Übereinstimmung mit den Bedingungen der UIC 812-3. Der Bearbeiter erhielt das Segment, welches auf Abb. 1 abgebildet ist. Die Risse wurden in dem abgeschliffenen Bereich aufgezeigt.

Durch den Auftraggeber der Expertise wurden weiterhin zwei Halbzeuge geliefert, die aus dem gegenständlichen Rad entnommen wurden, die für die Herstellung von Prüfkörpern für die Zugprüfung bestimmt sind. Ein Halbzeug wurde aus der Radscheibe entnommen und eines aus dem Kranz. Weiterhin wurden drei aus dem Radkranz entnommene und als 11, 12 und 13 gekennzeichnete Prismen geliefert. Dieses Material wurde zur Herstellung von Prüfkörpern für die Kerbschlagbiegeprüfungen verwendet.

Eine weitere Anforderung des Auftraggebers war es, sich zum Wesen und der Struktur des Oberflächenfehlers in Form einer Erhebung zu äußern, der sich auf der Radscheibe befindet und sich über den gesamten Umfang verteilt. Zu diesem Zweck wurde ein schmales Segment geliefert, das aus dem Rad abgetrennt wurde und den erwähnten Defekt hatte.



*Abb. 1. Durch den Auftraggeber geliefertes Radsegment.*

### 3. Prüfkörper

Die Prüfkörper für die Zugprüfungen wurden nach der Zeichnung in der Abb. 2 hergestellt. Im Fall des aus dem Radkranz entnommenen Körpers wurde die Körperachse 15 mm unter der Fahrfläche platziert und in tangentialer Richtung orientiert. Der Körper wurde als V gekennzeichnet.

Der Körper aus dem von der Scheibe entnommenen Halbzeug wurde so hergestellt, dass er den technischen Bedingungen UIC812-3 entsprach. Die Körperachse wurde in radialer Radrichtung orientiert. Der Körper wurde mit D gekennzeichnet.

Die Prüfkörper für die Kerbschlagbiegeprüfungen wurden nach der Zeichnung in der Abb. 3 hergestellt. Die Orientierung der Einkerbung gegenüber der Kennzeichnung auf dem Halbzeug ist auch in der Abb. 3 gezeigt. Für die Prüfungen wurden insgesamt 3 Körper mit der Kennzeichnung 11, 12 und 13 hergestellt.

Die Abnahme der Halbzeuge wurde in Übereinstimmung mit den Bedingungen der UIC 812-3 durchgeführt.

### 4. Zug- und Kerbschlagbiegeprüfungen

Die Zugprüfungen wurden auf einer elektromechanischen Prüfmaschine Zwick 1382 mit einem Kraftumfang von  $\pm 200$  kN bei Zimmertemperatur und bei einer gewöhnlichen Feuchtigkeit des Labors durchgeführt. Die Vorschubgeschwindigkeit des Querträgers betrug 2 mm/min.

Das Ergebnis der Zugprüfungen auf den aus dem Material des Radkranzes hergestellten Prüfkörper ist in der Abb. 4 und aus dem Material der Radscheibe in der Abb. 5 dargestellt. Ziffernmäßig sind die gemessenen grundlegenden mechanischen Werte in der Tab. 1 aufgeführt.

Die Kerbschlagbiegeprüfungen wurden auf einem Pendelschlagwerk Amsler RKP (300 J) mit einer Aufzeichnung von Kraft und Winkel durchgeführt. Die Geschwindigkeit des Pendelhammers betrug  $5,23 \text{ ms}^{-1}$  und die Prüftemperatur  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Prüfergebnisse sind in der Tab. 2 aufgeführt. Der Durchschnittswert KU beträgt  $28 \pm 1 \text{ J}$

Tabelle 1. Ergebnisse der Zugprüfungen

Prüfkörper	L0	d0	ReH	ReL	Rm	A	Z
	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]
V	50	9,99	515	328	820	19,7	50,1
D	50	10,00	331	486	664	27,6	46,7

Forschungsbericht  
Auftrag 12 75789/JR/

S. 6/29

Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der  
Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut

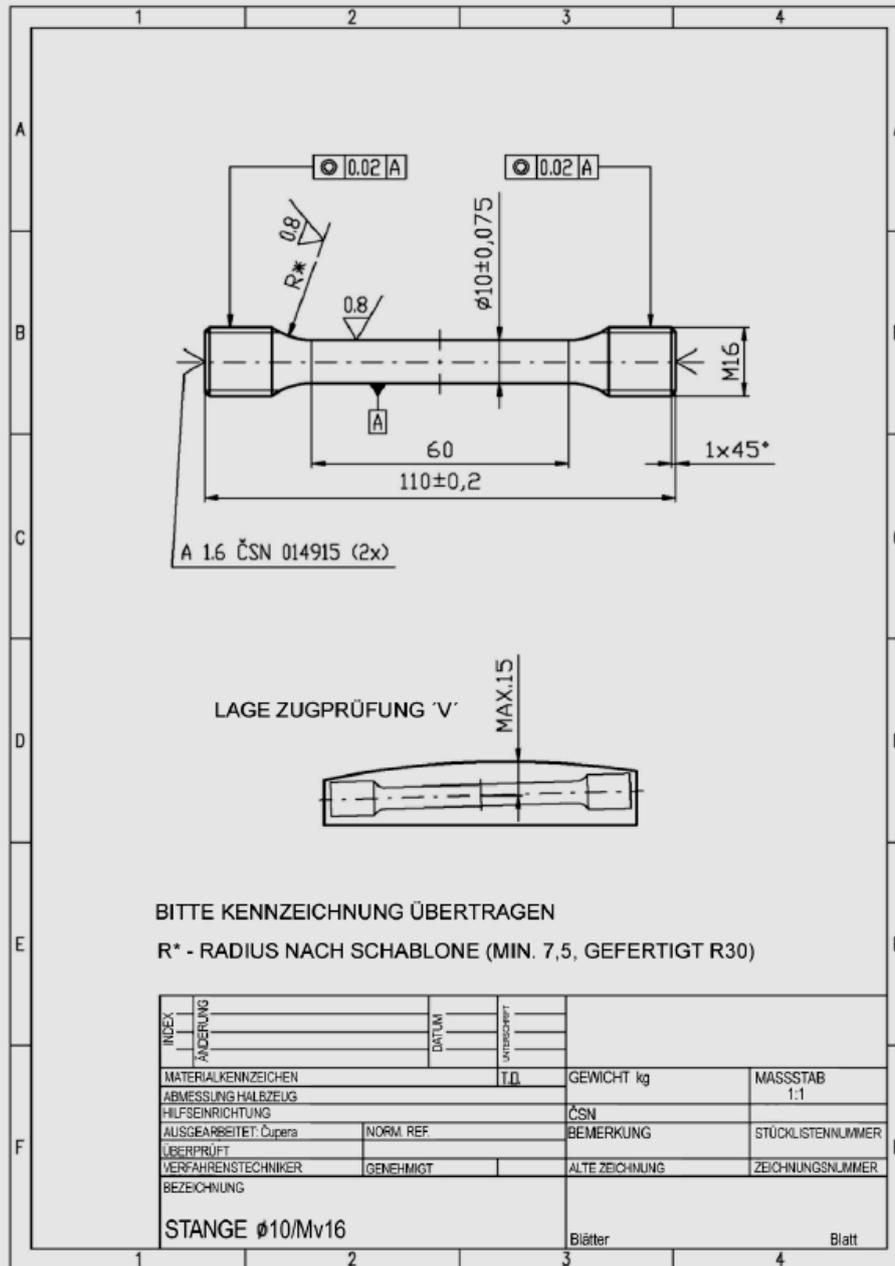


Abb. 2. Zeichnung des Prüfkörpers für die Zugprüfung.

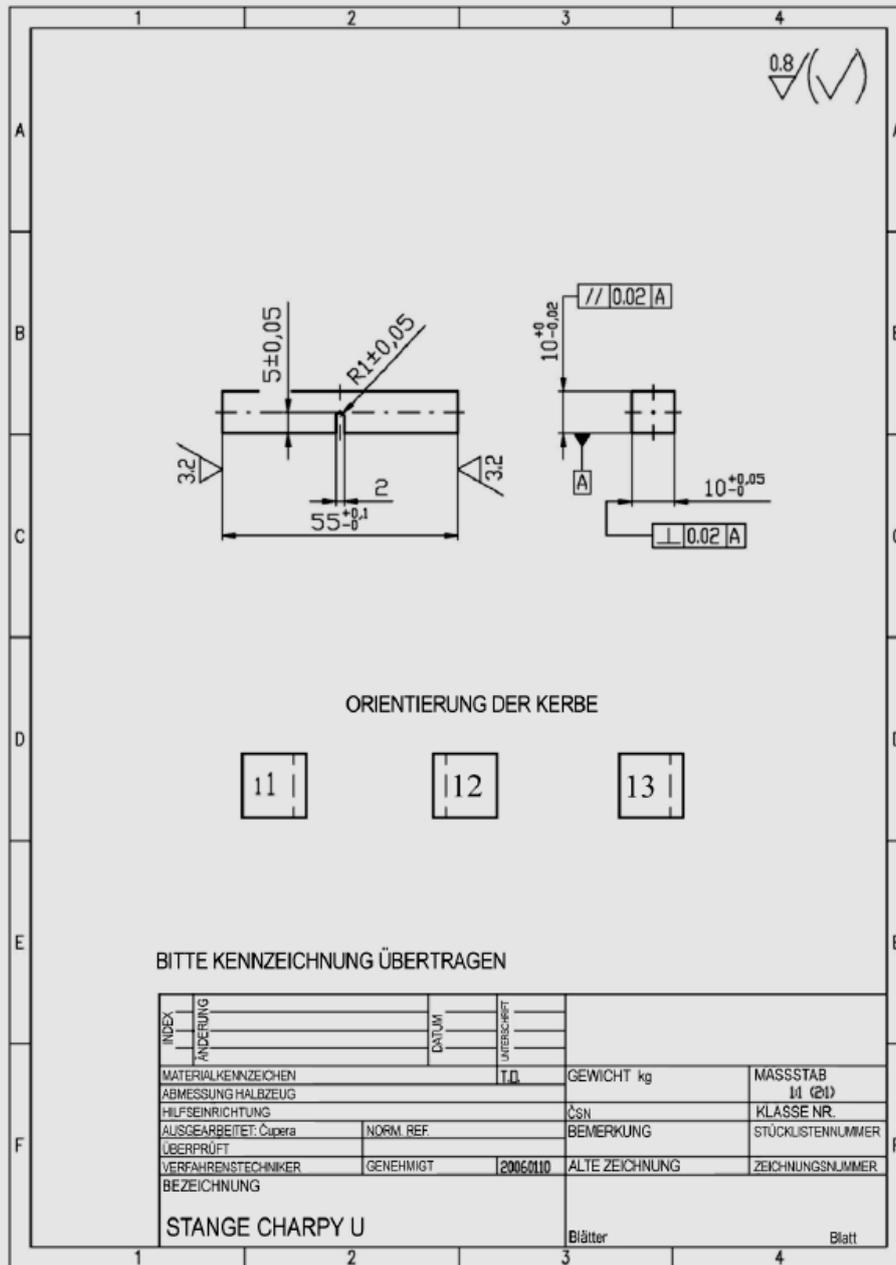


Abb.3. Zeichnung des Prüfkörpers für die Kerbschlagbiegeprüfung.

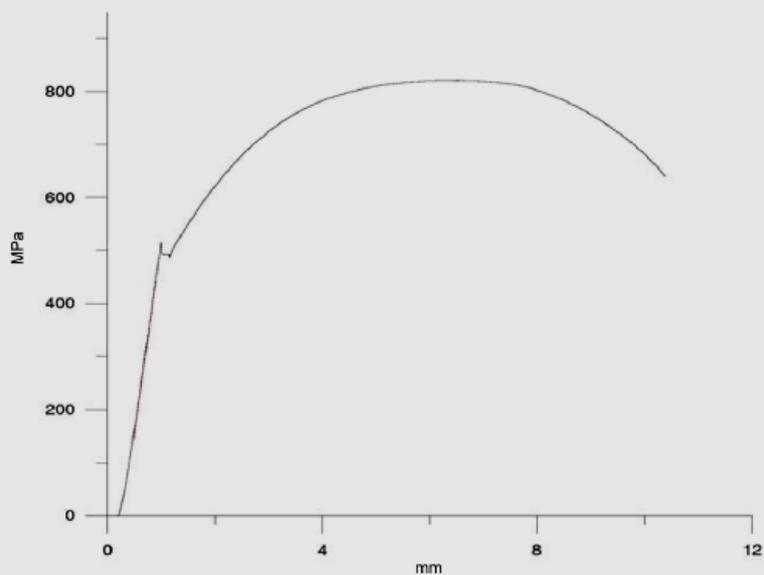


Abb. 4. Zugdiagramm des aus dem Kranz entnommenen Prüfkörpers.

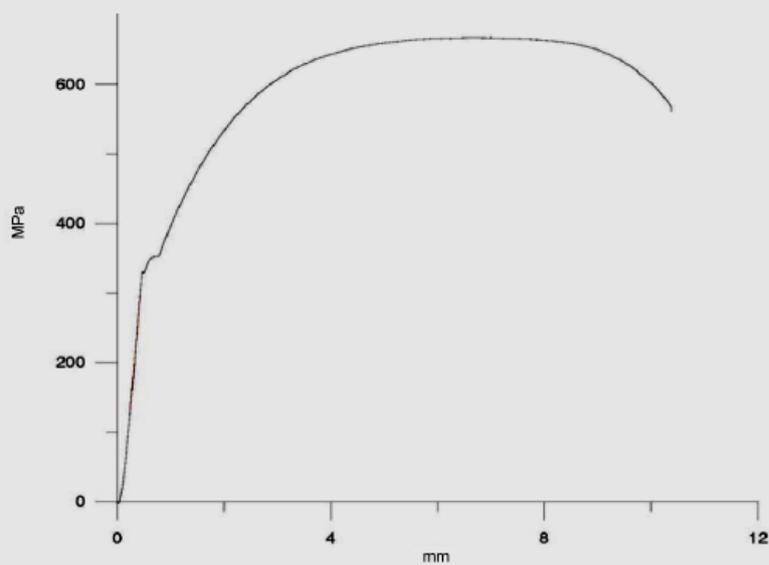


Abb. 5. Zugdiagramm des aus der Scheibe entnommenen Prüfkörpers.

*Tabelle 2. Ergebnisse der Kerbschlagbiegeprüfungen*

Prüfkörper	KU [J]	Stärke [mm]	Höhe [mm]	Breite [mm]
11	27,5	10,06	10,06	55,10
12	29,5	10,05	10,06	55,10
13	28,0	10,06	10,05	55,10

Die Ergebnisse, insbesondere der Zugprüfungen aus dem Radkranz, aber auch der Kerbschlagbiegeprüfung aus dem Radkranz, wurden durch die Tatsache der Entnahme der Proben aus dem durch Betriebsabnutzung geschwächten Kranz beeinflusst.

## **5. Untersuchung der Oberfläche der Scheibe durch ein Lichtmikroskop**

Bei einer kleinen Vergrößerung wurden mit Hilfe eines optischen Mikroskops auf der Oberfläche der Scheibe im abgeschliffenen Bereich keine Risse beobachtet. Diese Tatsache lässt sich damit erklären, dass das Relief der Scheibenoberfläche durch Schleifen entstand, die Risse wurden völlig abgedeckt.

Für eine weitere detailliertere Beobachtung war es notwendig, das Segment in kleinere Teile zu teilen. Das Segment wurde nach den in der Abb. 1 gekennzeichneten Linien zerschnitten. Für die Beobachtung wurden die als A und B gekennzeichneten Teile verwendet. Der Teil A wurde mechanisch poliert und mit Nital im mit dem in der Abb. 1 gekennzeichneten Rechteck geätzt. Die Begutachtung auf dem optischen Mikroskop enthüllte jedoch keine Risse. Aus diesem Grund wurden beide Teile erneut einer magnetischen Fluoreszenz-Defektoskopie in der Firma Bonatrans unterzogen. Die Ergebnisse sind in der Abb. 6 und 7 dargestellt. In der Abb. 6 ist der Teil A dargestellt. Die Pfeile zeigen auf Risse, die durch die magnetische Fluoreszenz-Methode angezeigt wurden. Aus dem Bild ist ersichtlich, dass im Rechteck, welches den metallografisch vorbereiteten Bereich kennzeichnet, der sich ursprünglich in der Mitte des abgeschliffenen Teils befand, die magnetische Fluoreszenz-Methode auch keine Mängel anzeigt. Der Bereich mit Rissen, angezeigt durch die magnetische Methode, wird in der Abbildung durch eine dicke schwarze Linie eingegrenzt. Der Teil B ist in der Abb. 7 dargestellt. Die magnetische Methode zeigt hier vier Risse, die durch Pfeile gekennzeichnet sind, an. Die Bereiche mit den Rissen werden durch eine dicke Linie gekennzeichnet.

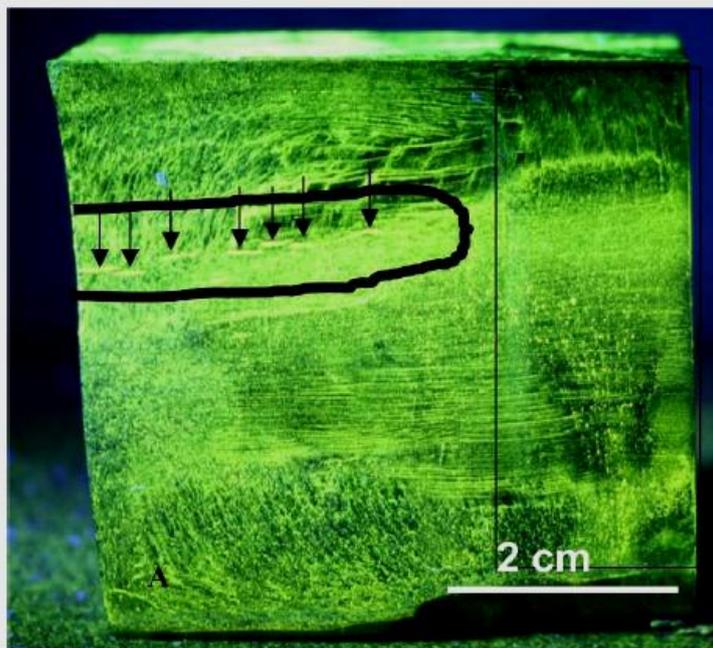


Abb. 6. Anzeige der Risse mit Hilfe der magnetischen Fluoreszenz-Methode am Teil A. Die Pfeile zeigen die einzelnen Risse an, das Rechteck grenzt den metallografisch vorbereiteten und den durch das Lichtmikroskop beobachteten Bereich ein.

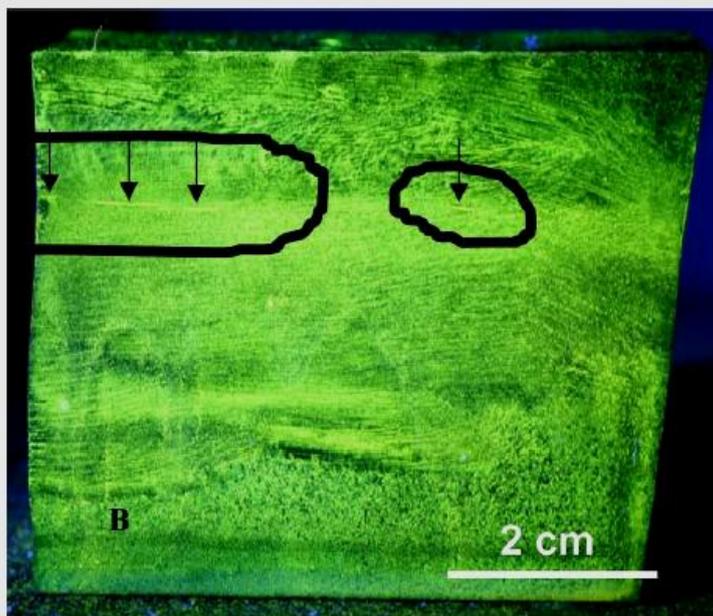


Abb. 7. Anzeige der Risse auf dem Teil B.



*Abb. 8. Anzeige des Bereichs der Risse auf dem verkleinerten Teil A.*



*Abb. 9. Anzeige des Bereichs der Risse auf dem verkleinerten Teil B.*

## **6. Untersuchung der Oberfläche der Scheibe durch ein Elektronenrastermikroskop**

Für die Beobachtung der Risse in einem Elektronenrastermikroskop Tescan Lyra wurden die Teile A und B weiter verkleinert, siehe Abb. 8 und 9. Die Bereiche mit den Rissen sind auf beiden Abbildungen genau wie in der Abb. 6 und 7 gekennzeichnet. Die verkleinerten Teile wurden sorgfältig von dem fluoreszierenden Material, das für die Anzeige der Risse verwendet wurde, gereinigt. Die Reinigung wurde in einem Ultraschall-Reinigungsgerät in Azeton durchgeführt.

Die Ergebnisse der Beobachtung der Oberfläche im Elektronenrastermikroskop LYRA 3 XMU FEG/SEM-FIB Tescan sind in den Abb. 10 bis 14 dargestellt. In der Abb. 10 wird die Oberfläche des verkleinerten Teils B bei einer kleinen Vergrößerung dargestellt.

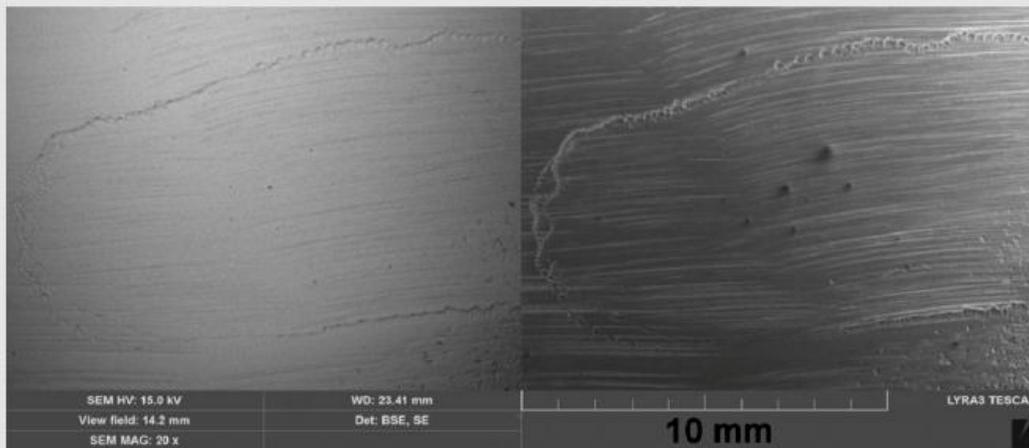


Abb. 10. Oberfläche des verkleinerten Teils B, abgebildet durch das Rastermikroskop.

Die schwarze Linie in der Abb. 6 entspricht der Linie von den durch die Nadel des elektromagnetischen Schreibers verursachten Vertiefungen.

Im linken Teil der Abbildung ist die Anzeige in der Betriebsart der Rückstreuelektronen, im rechten Teil in der Betriebsart der Sekundärelektronen. In beiden Fällen sind die durch die magnetische Methode angezeigten Risse bei dieser Vergrößerung nicht sichtbar. In der Abb. 11 wird der Bereich angezeigt, der in Abb. 9 durch eine geschlossene Linie eingegrenzt ist. In ihm wurde durch die magnetische Methode ein Riss angezeigt, siehe Abb. 7. Die Pfeile in Abb. 11 zeigen auf die Stelle, in der sich der Riss befindet. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Unterscheidbarkeit des Risses sehr begrenzt ist.

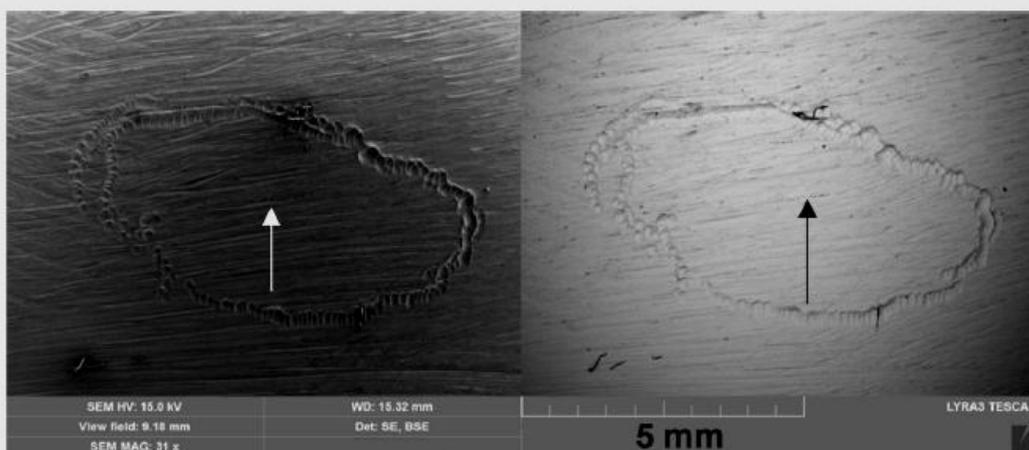


Abb. 11. Oberfläche des verkleinerten Teils B, abgebildet durch das Rastermikroskop.

Die Stelle des Risses wird bei einer größeren Vergrößerung in Abb. 12 und 13 gezeigt. Die Oberfläche trägt klare Spuren vom Schleifen. Der eigentliche Riss ist offensichtlich schlecht sichtbar; er ist durch die vom Schleifen deformierte Oberfläche überdeckt. In der Abb. 13 ist zu sehen, dass an der Stelle der Vertiefung in Form einer Nut auch nach sorgfältiger Reinigung fluoreszierende Masse verblieb. Sie erscheint als weiß und ist mit einem Pfeil gekennzeichnet.

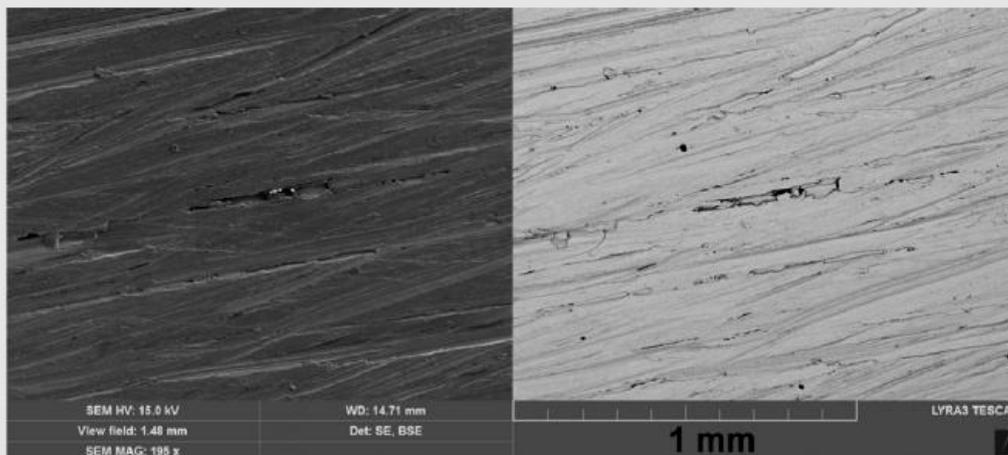


Abb. 12. Bereich des Risses von Abb. 11.

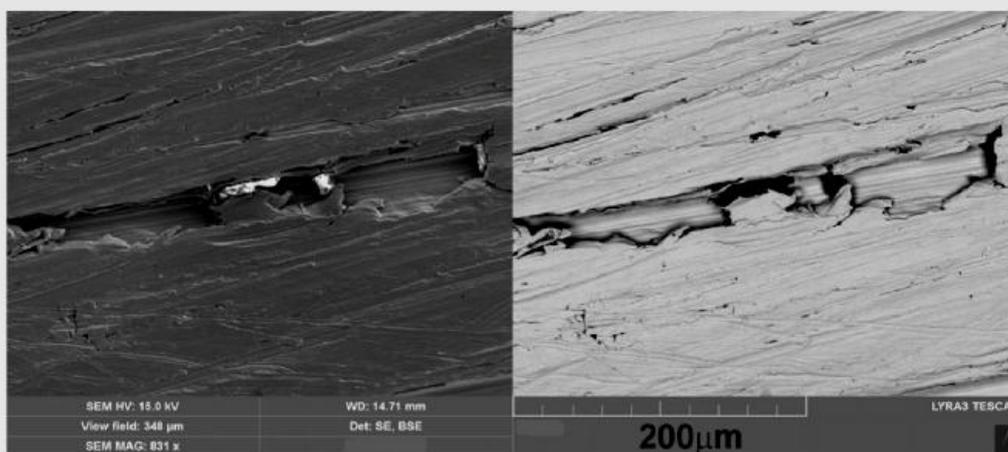


Abb. 13. Bereich des Risses von Abb. 11.

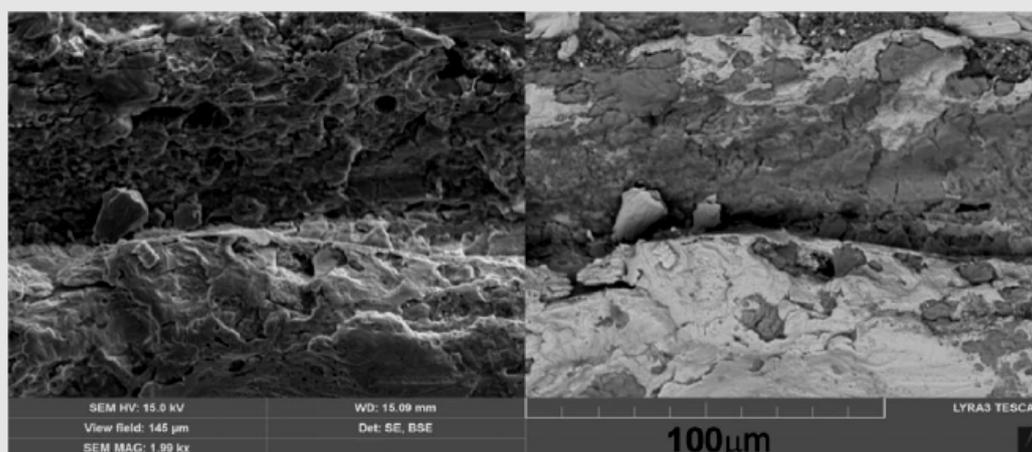


Abb. 14. Oberfläche des Rades im nicht geschliffenen Teil.

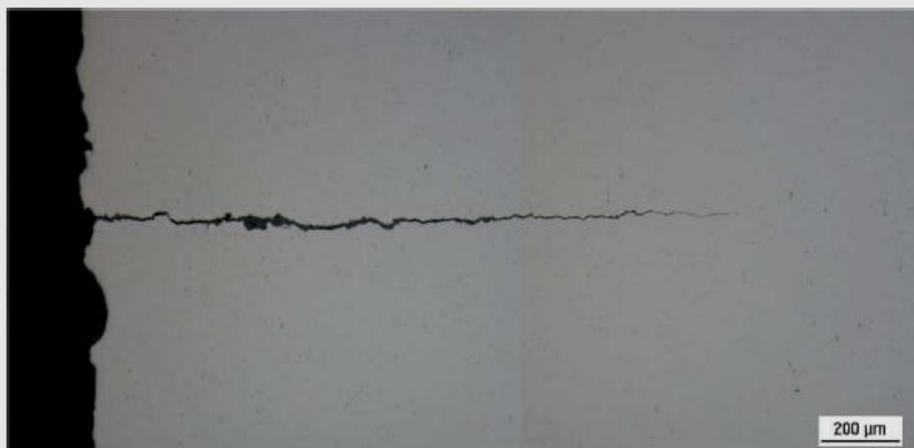
Die Oberfläche der Radscheibe im nicht geschliffenen Teil wird in der Abb. 14 dargestellt. Die Riefe in der Mitte ist mit höchster Wahrscheinlichkeit ein Riss. Seine Umgebung ist korrodiert. In der Abbildung der Rückstreuelektronen ist ersichtlich, dass an der Oberfläche fluoreszierende Masse (weiß) klebt und an der Oberfläche auch nach sorgfältiger Reinigung im Ultraschallreinigungsgesetz verblieben.

Zum Schluss lässt sich feststellen, dass weder die optische noch die rasterelektronische Mikroskopie auf der Oberfläche der Radscheibe nach der Behandlung durch Sandstrahlen sowie auf der gestrahlten Oberfläche nach deren Abschleifen ausreichend gut Risse anzeigt, die durch die magnetische Fluoreszenz-Defektoskopie angezeigt wurden.

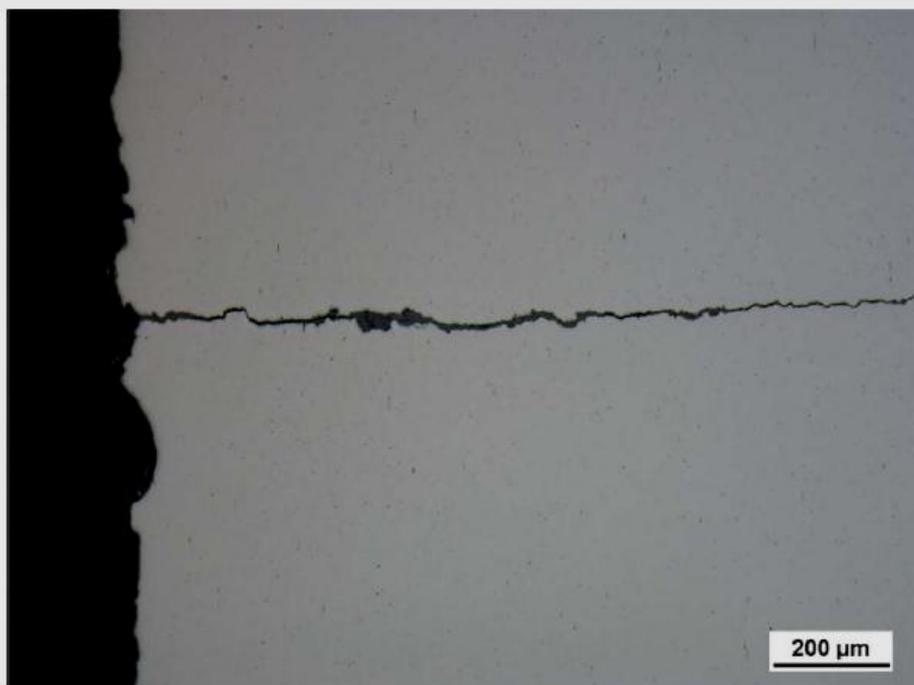
## 7. Untersuchung der Querschnitte der Scheibe

Zur Sichtbarmachung und der Analyse der Risse wurde deshalb die Methode der senkrechten Schnitte zu den Rissen gewählt. Die verkleinerten Teile A und B wurden auf einer Diamantsäge aufgeschnitten. Die Schnitte wurden nach den gestrichelten Linien, die auf den Abb. 8 und 9 gezeigt werden, geführt. Die Schnitte wurden metallografisch vorbereitet und poliert. Die Beobachtung wurde auf einem Lichtmikroskop Neophot 32 durchgeführt.

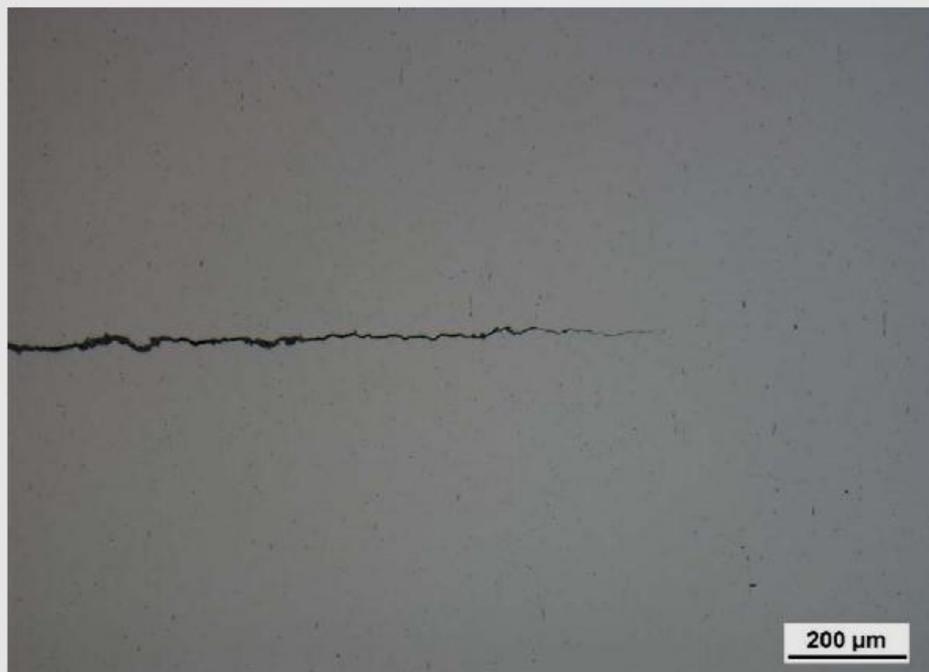
In der Abb. 15 ist ein Riss dargestellt, welcher an der Oberfläche beginnt und senkrecht in das Material der Scheibe gerichtet ist. Die Länge des Risses beträgt ungefähr 1,8 mm. Das Detail des Beginns des Risses wird in der Abb. 16 und seine Spitze in der Abb. 17 dargestellt. Der Riss ist in seiner Mündung geöffnet, in Richtung zu seiner Spitze verringert sich die Öffnung. Ein anderes Beispiel eines Risses wird in der Abb. 18 dargestellt. Dieser Riss ist bedeutend kürzer.



*Abb. 15. Riss in der Scheibe.*



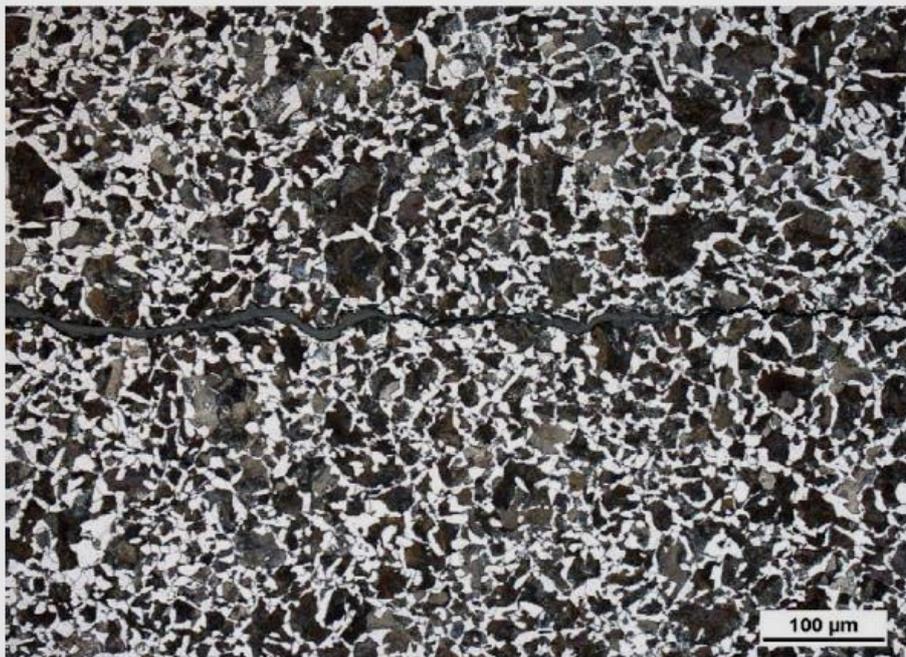
*Abb. 16. Anfang des Risses an der Oberfläche der Scheibe.*



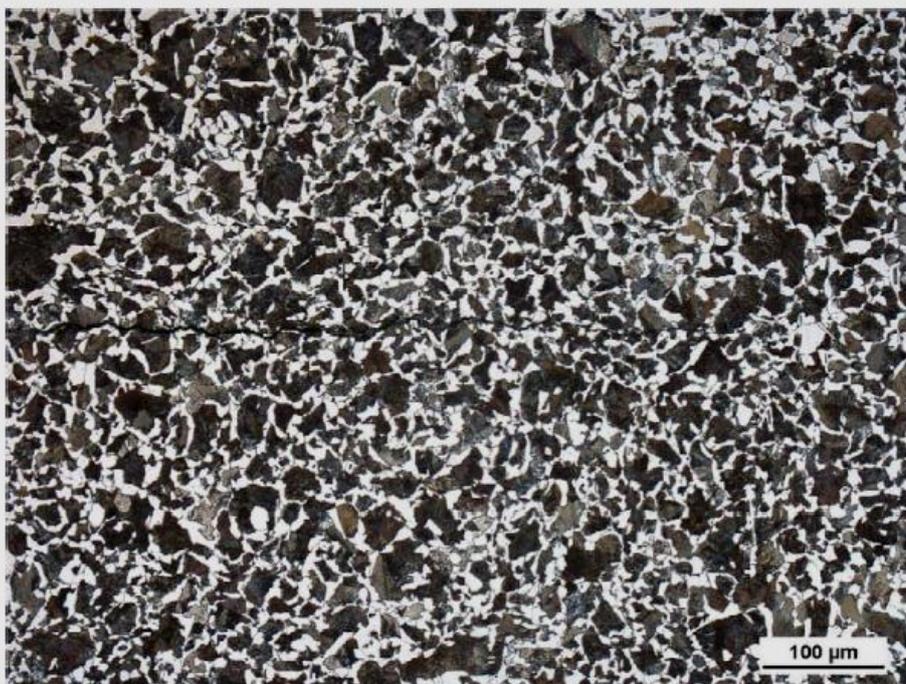
*Abb. 17. Spitze des Risses im Scheibenmaterial.*



*Abb. 18. Anderes Beispiel eines Risses in der Scheibe.*



*Abb. 19. Riss von der Abb. 15 gemeinsam mit der Mikrostruktur des Materials. angezeigt.*



*Abb. 20. Spitze des Risses.*

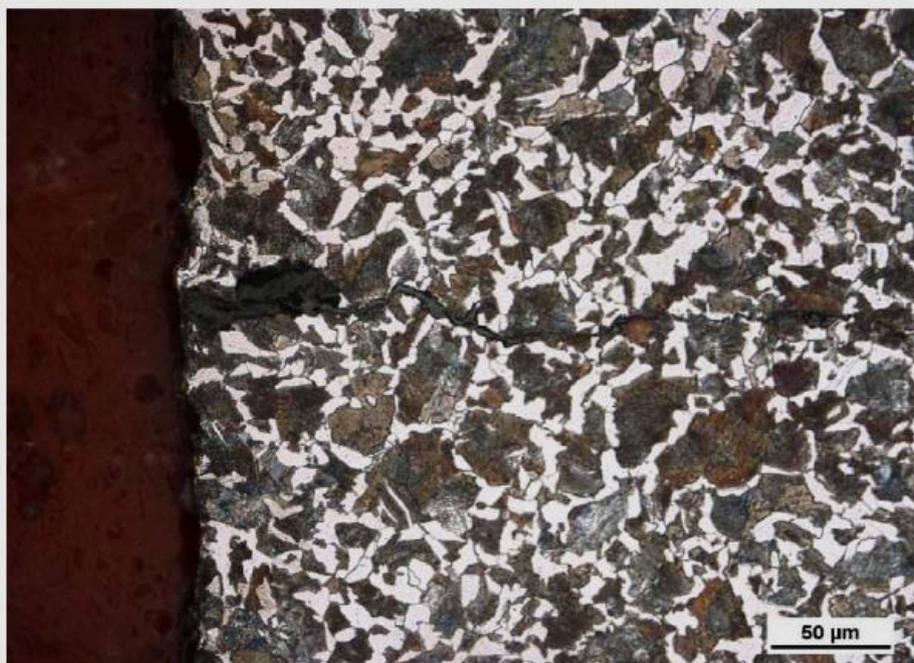


Abb. 21. Riss von der Abb. 18 gemeinsam mit der Mikrostruktur des Materials angezeigt.

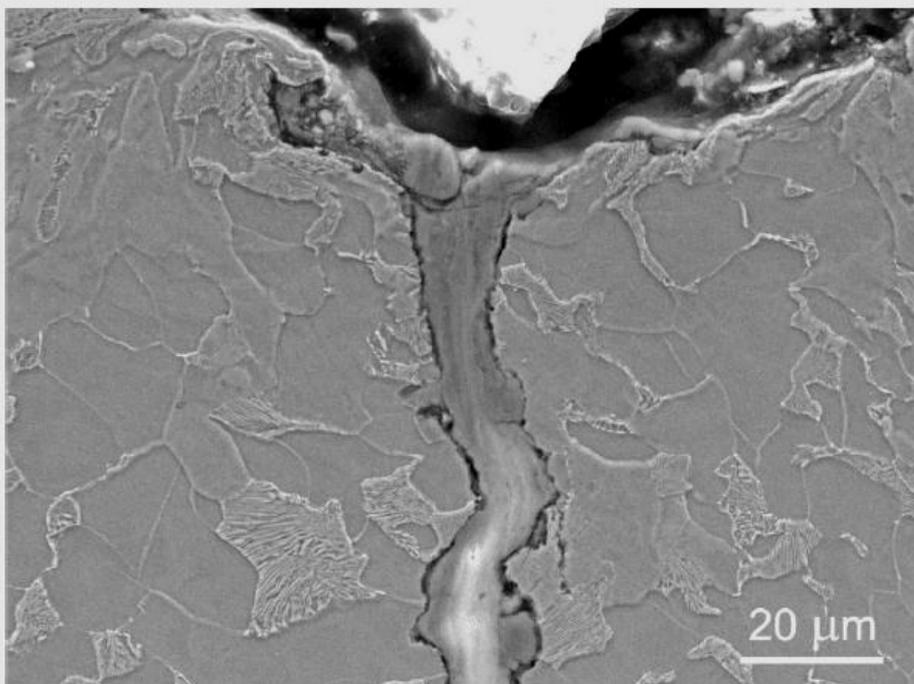


Abb. 22. Anfang des Risses an der Oberfläche der Scheibe, Anzeige SEM.

Die Schliffe mit den Rissen wurden so geätzt, dass auch die Struktur des Materials sichtbar wurde. In der Abb. 19 wird der Riss von der Abb. 15 angezeigt. Es ist offensichtlich, dass der Riss sich über beide grundlegenden Strukturbestandteile ausbreitete, d.h. über das Perlit sowie das Ferrit. Das ist bei einer größeren Vergrößerung in Abb. 20 dokumentiert, in welcher die Spitze des Risses dargestellt wird.

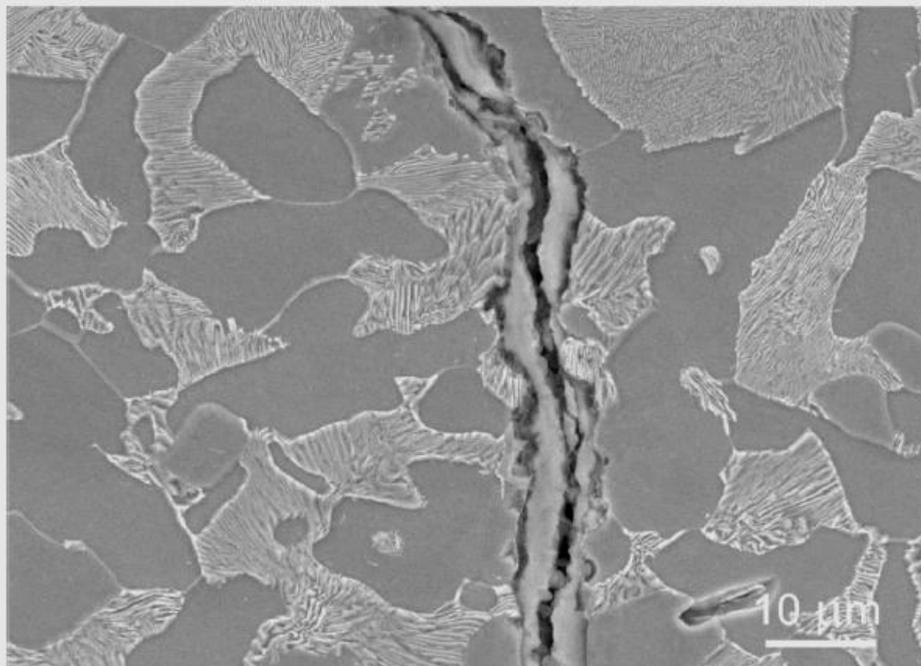
In der Abbildung 21 wird der Riss aus der Abb. 18 gemeinsam mit der Mikrostruktur gezeigt. Aus dem Verlauf des Risses ist wieder ersichtlich, dass die Ausbreitung sowohl über das Perlit als auch das Ferrit erfolgte.

Die Schliffe der Risse wurden im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Die Abbildung des Risses, der aus der Oberfläche hervorgeht, wird in der Abb. 22 gezeigt. Es handelt sich um den in der Abb. 15 abgebildeten Riss. Der Riss ist in seiner Mündung bedeutend geöffnet und durch Korrosionsprodukte ausgefüllt. Die Stärke der Schicht beträgt um die 10 µm, lokal auch mehr.

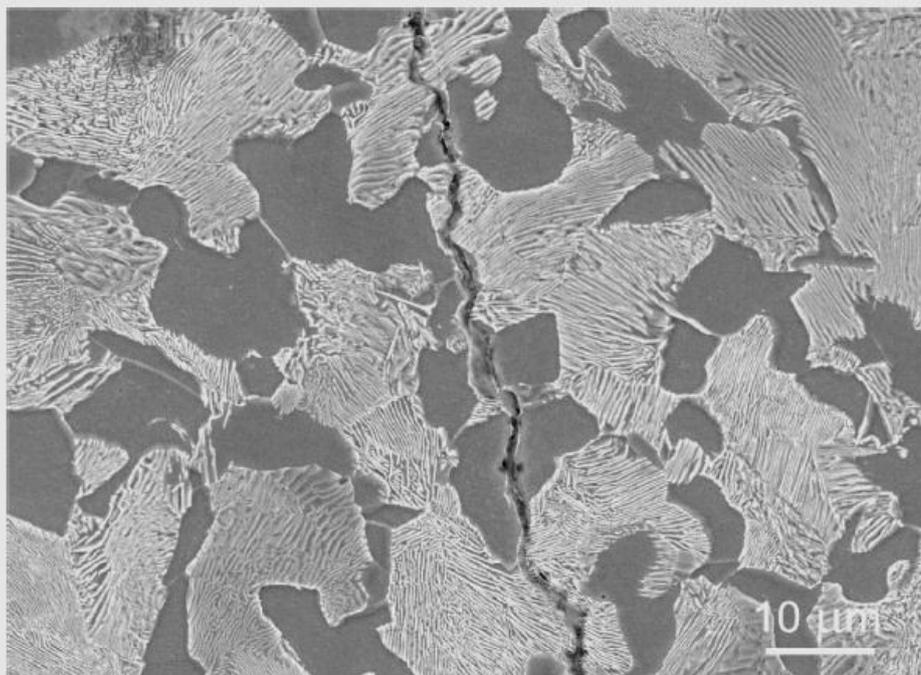
In der Abb. 23 wird ein Riss in einer größeren Tiefe unter der Oberfläche abgebildet, in diesem Fall ungefähr 0,5 mm. In diesem Fall handelt es sich um einen anderen, parallelen Schnitt, siehe Abb. 8 und 9. Abb. 23 zeigt, dass auch in einer größeren Tiefe unter der Oberfläche Risse sind, die mit einer Schicht von Korrosionsprodukten ausgefüllt sind. Der Verlauf des Risses geht über das Ferrit sowie das Perlit. Ein Riss in der Nähe der Spitze in einer Tiefe von 1,5 mm unter der Oberfläche wird in Abb. 24 abgebildet. Auch in dieser Tiefe ist auf den Bruchflächen eine Korrosionsschicht ersichtlich.

Das Wesen der Korrosionsprodukte wurde mit Hilfe der EDX-Analyse mit einem Elektronenrastermikroskop JEOL 6460 mit Analysatoren Oxford Instruments ICA Energy EDX und INCA Wave WDX bewertet. In der Abb. 25 werden zwei Stellen gezeigt, in welchen eine Analyse durchgeführt wurde. Die Stelle Spectrum 1 entspricht den Korrosionsprodukten innerhalb eines Risses, Spectrum 2 dem Grundmaterial. In der Stelle Spectrum 1 wurde außer Fe eine sehr große Menge an Sauerstoff gefunden, währenddessen in der Stelle Spectrum 2 der Sauerstoff komplett fehlt. Aus dieser Messung lässt sich schließen, dass die Schicht von Korrosionsprodukten dominierend durch Eisenoxide gebildet wird.

Wenn wir die Ergebnisse dieser Analyse mit den Ergebnissen der Untersuchung des havarierten Rades vergleichen, ist ersichtlich, dass es sich um den gleichen Fall handelt. Im Material der Scheibe sind Risse, welche an den Bruchflächen eine starke Oxidschicht haben. Die Risse sind offensichtlich Ermüdungsrisse und breiteten sich unter bedeutend erhöhten Temperaturen aus. Der Unterschied besteht nur darin, dass die in dieser Studie analysierten Risse bedeutend kürzer sind, als im Fall des Rades Nr. 1.



*Abb. 23. Riss innerhalb des Materials in einer Tiefe von ungefähr 0,5 mm, Anzeige SEM.*



*Abb. 24. Riss in der Nähe der Spitze, Tiefe unter der Oberfläche 1,5 mm.*

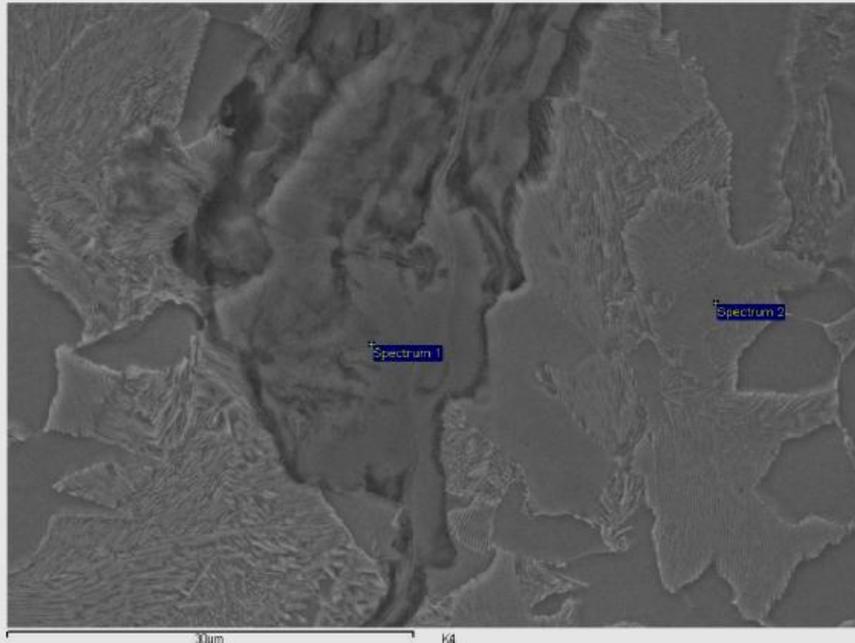
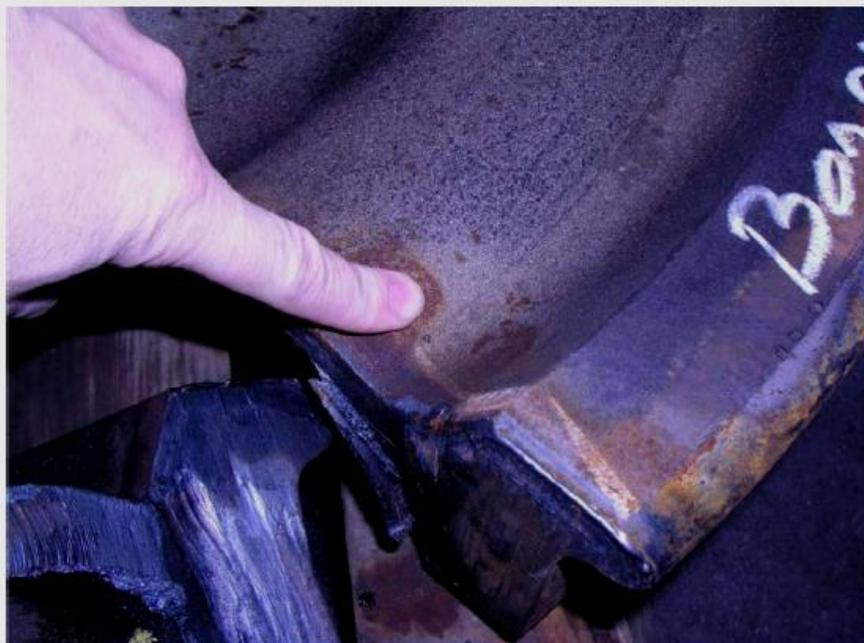


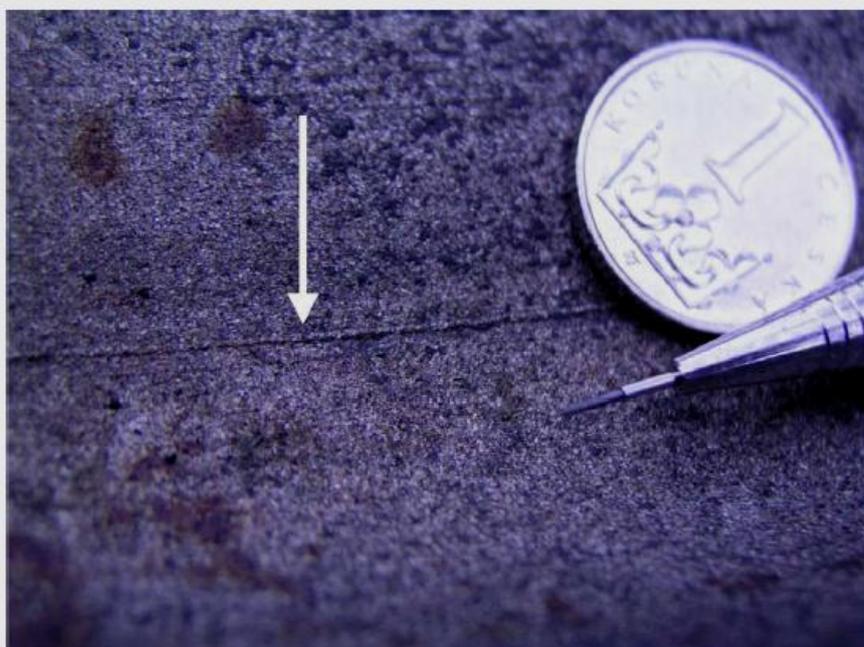
Abb. 25. Stellen, an welchen eine Analyse der Zusammensetzung durchgeführt wurde.

## 8. Untersuchung der Oberflächenmängel an der Radscheibe

Auf der Radscheibe wurde ein Formfehler in Form einer Erhebung beobachtet, Abb. 26 und 27. Aus der Scheibe wurde ein kleiner Teil mit dem Fehler ausgeschnitten und im Rastermikroskop untersucht. Die Erhebung ist in der Abb. 28 abgebildet. Ihre Breite beträgt ungefähr 0,5 mm. Die Oberfläche der Scheibe ist mit Vertiefungen von Einschlügen überdeckt, welche beim Sandstrahlen des Rades entstanden sind. In der Abb. 29 ist deutlich zu sehen, dass die Beschädigung durch Einschlüge sowohl die Erhebung angreift als auch ihre Umgebung. Eine schräge Ansicht auf die Erhebung, die auch die Schnittebene senkrecht zur Radscheibe einfängt, wird in der Abb. 28 gezeigt. Es ist offensichtlich, dass es sich um eine Formerrhebung handelt, ohne strukturellen Zusammenhang mit dem Material. Das Profil der Erhebung wird am senkrechten Schnitt in der Abb. 29 und 30 abgebildet. Es handelt sich um zwei verschiedene Schnitte. Die Breite der Erhebung beträgt 450  $\mu\text{m}$  und die Höhe über der benachbarten Oberfläche 120  $\mu\text{m}$ . Ihre ursprünglich abgerundete Form ist offensichtlich durch Vertiefungen von Einschlügen deformiert. Die Mikrostruktur im Bereich der Erhebung ist in der Abb. 31 und 32 zu sehen. Es ist offensichtlich, dass die Erhebung nicht irgendwie mit einer eventuellen nicht homogenen Struktur sowie Defekten zusammenhängt. Es handelt sich offensichtlich um eine Formangelegenheit, die bei der Herstellung des Rades entstand. Aus der Abb. 15, 16, 18 und 21 folgt weiterhin, dass die Risse an der Scheibenoberfläche sich nicht in der Nähe der Erhebung befinden. Genau wie bei der Erhebung, Abb. 31 bis 34 wurden an den senkrechten Schnitten keine Risse beobachtet.



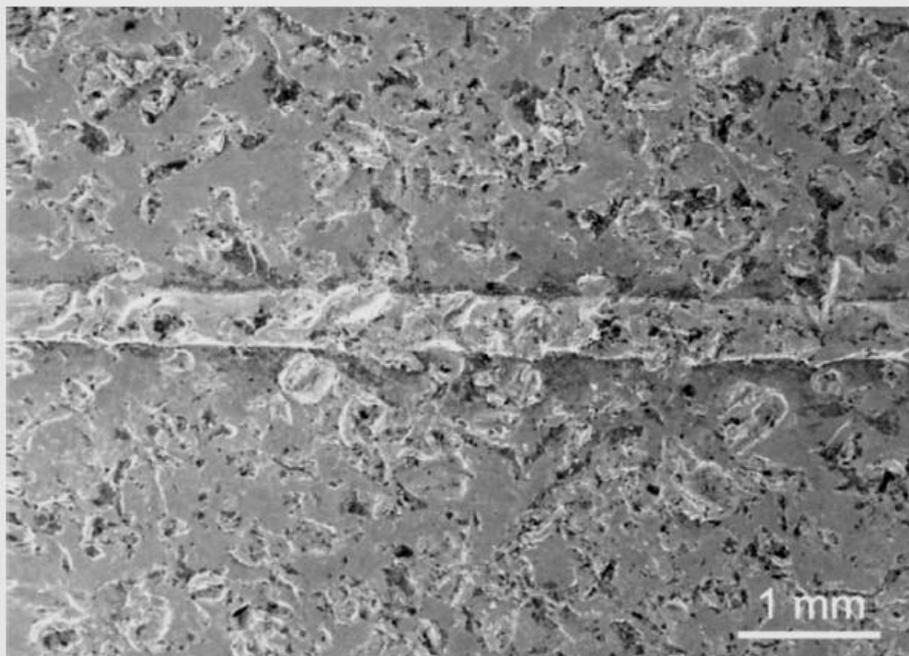
*Abb. 26. Makroskopische Ansicht auf den Fehler.*



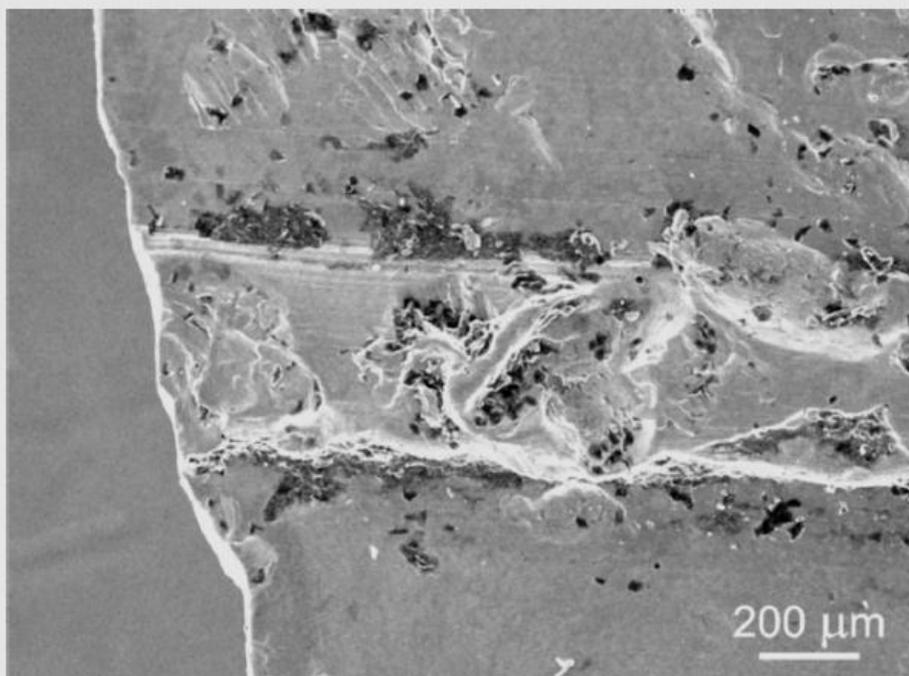
*Abb. 27. Makroskopische Ansicht auf den Fehler.*

Forschungsbericht  
Auftrag 12 75789/JR/

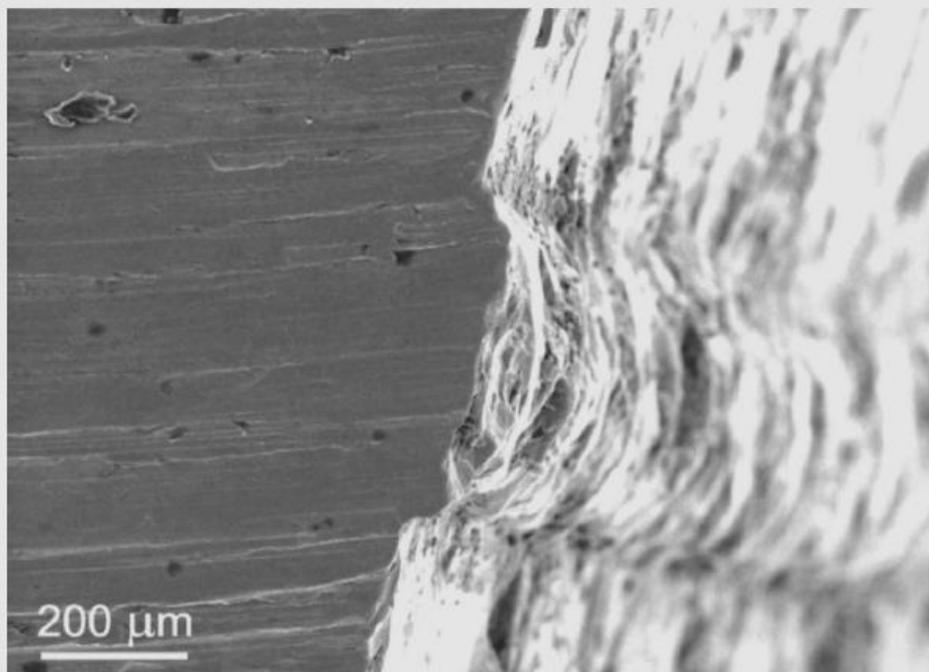
S. 23/29 Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der  
Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut



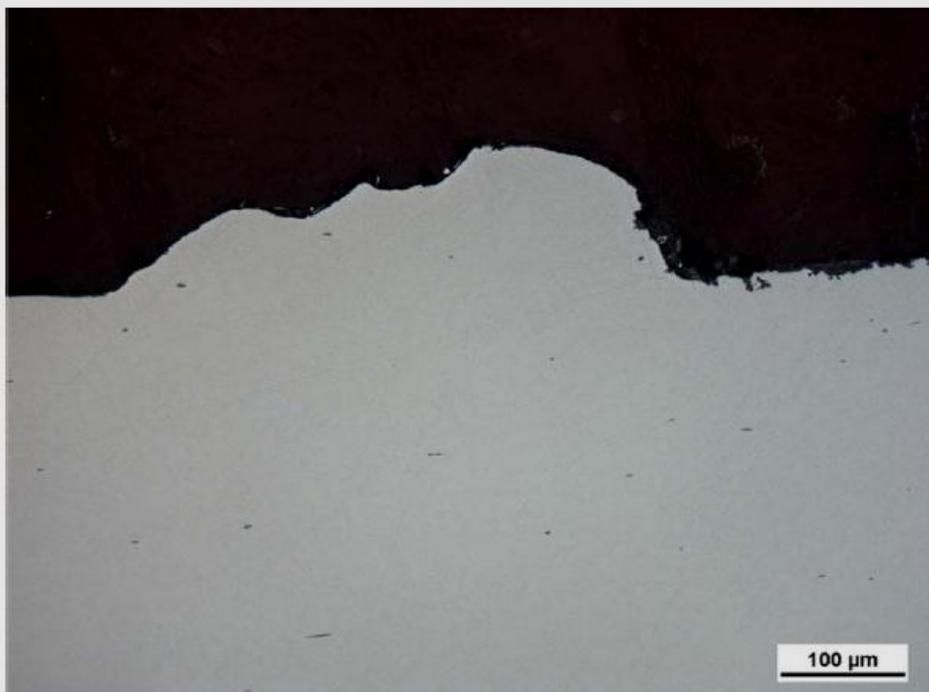
*Abb. 28. Erhebung auf der Scheibenoberfläche.*



*Abb. 29. Beschädigung durch Einschläge der Oberfläche durch Sandstrahlen im Bereich der Erhebung.*



*Abb. 30. Seitliche Ansicht auf die Erhebung.*



*Abb. 31. Profil der Erhebung.*

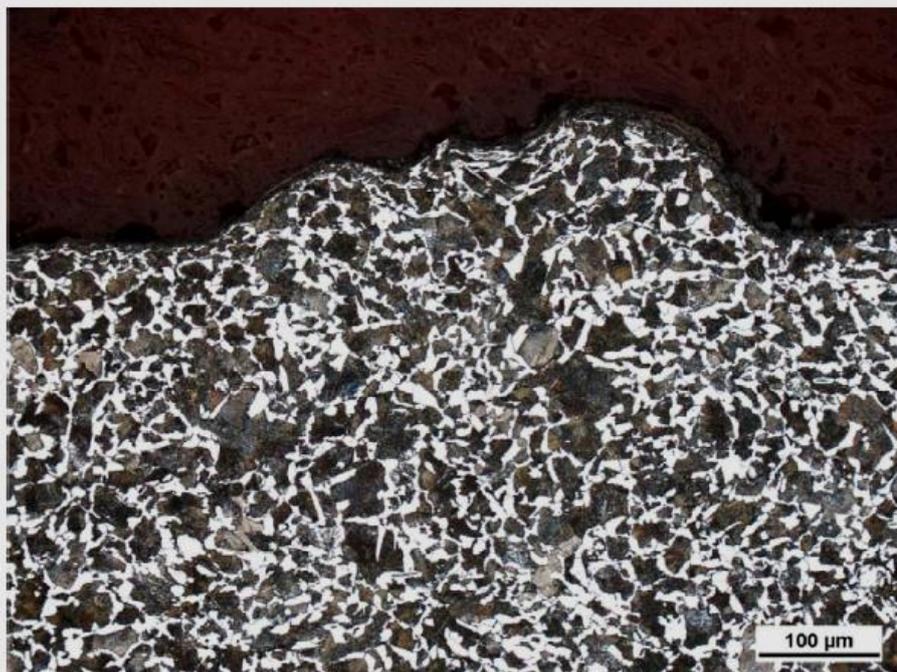
Forschungsbericht  
Auftrag 12 75789/JR/

S. 25/29

Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der  
Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut



*Abb. 32. Profil der Erhebung.*



*Abb. 33. Mikrostruktur im Bereich der Erhebung.*

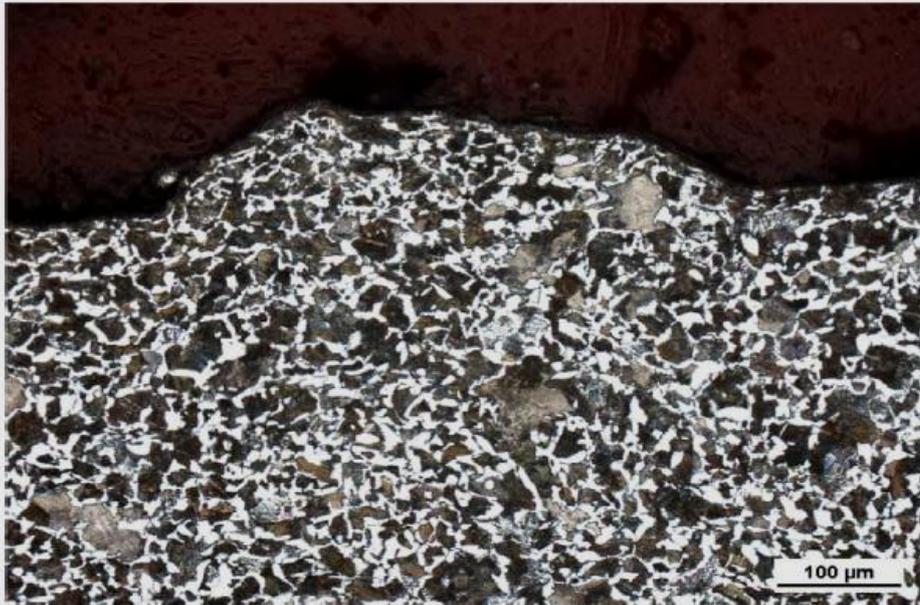


Abb. 34. Mikrostruktur im Bereich der Erhebung.

## 9. Schlussfolgerung

Die durchgeführte Untersuchung der gelieferten Radsegmente führt zu der Schlussfolgerung, dass die Radscheibe an der Stelle der zerstörungsfreien Prüfung eine Reihe von Rissen enthält. Sie sind über den Umfang verteilt und ihre Länge übersteigt nicht einige mm. Die größte beobachtete Tiefe, in welche sie reichen, war max. 1,8 mm. Die Risse breiteten sich senkrecht zur Oberfläche der Scheibe in axialer Richtung aus. Die Risse beinhalteten eine starke Schicht von Eisenoxiden. Die Schicht verringerte sich mit steigender Ristiefe, reicht jedoch bis zur Spitze der Risse. Die Ausbreitung der Risse erfolgte ohne Rücksicht auf die lokale Struktur, und zwar sowohl über das Perlit als auch das Ferrit. Die Perlit-Ferrit-Struktur zeigt im Bereich der Risse keine Degradation auf.

Aus dem Vergleich mit den am analysierten Rad Nr. 1 beobachteten Rissen ist offensichtlich, dass es sich um den gleichen Zerstörungstyp handelt. Die starke Oxidationsschicht an den Bruchflächen zeigt an, dass es sich um Ermüdungsrisse handelt, welche unter erhöhten Temperaturen gewachsen sind. Die Risse sind in diesem Fall viel kleiner als im Fall des Rades Nr. 1.

An dem gelieferten Material (nur an einem einzigen Prüfkörper) wurden zur Orientierung die grundlegenden mechanischen Eigenschaften festgelegt: Material der Scheibe:  $R_m = 644 \text{ MPa}$ , Kranz:  $R_m = 820 \text{ MPa}$ ,  $KU = 28 \pm 1 \text{ J}$ . Diese Werte erfüllen trotz der "Verschiebung" gegenüber der Oberfläche der Fahrfläche eines neuen Rades die durch die technischen Bedingungen der UIC 812-3 gegebenen Grenzwerte.

Die Analyse der Umfangserhebung auf der Radscheibe führt zu der Schlussfolgerung, dass es sich um einen Formfehler auf der Oberfläche handelt, wahrscheinlich technologischen Ursprungs (bei der Bearbeitung), ohne Zusammenhang mit der Struktur bzw. der Beschädigung des Materials.

### Verweise

[1] L. Kunz, P. Hutař: Analyse der wahrscheinlichen Ursachen der Zerstörung eines Vollrades BONATRANS GROUP a.s., das bei der ÖBB an einem Fahrzeug des Typs Uacns betrieben wurde, Institut Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik, Oktober 2011.

Forschungsbericht  
Auftrag 12 75789/JR/

S. 28/29 Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der  
Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut

Anlage 1

Tahová zkouška Zugversuch										Zkouška rázem v ohybu Kerbschlagbiegeversuch				
Zk. č. Probe Nr.	Rozměry zkoušek Probenabmessungen			Měř. délka Mess- länge	Mez kluzu Streckgrenze	Pevnost v tahu Zugfestigkeit	Poměrné prodlou- žení Bruch- dehnung	Gle. normy CS: ČN 10 045-1						
	Průměr Durchmesser	Šířka Breite	Průřez Quer- schnitt					Krv. kladivo Čarby		Teplota Temp.				
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	Re	Rm	%	A	Poloha Lage	U	J	J	°C	
Předpis Vorschrift		Ø 10	78,5	50	informativ.	620-700	14				15		20	
						620-700	16			inf.			-20	
Výsledk. zkoušky Istwerte	39/1 v.	Ø 10	78,5	59,2	802	930	18,4	25	24	29		20		
	39/2 d.	Ø 10	78,5	60,9	397	719	21,6	16	17	23		-20		
	345/1 v.	Ø 10	78,5	59,8	628	909	17,9	25	23	24		20		
	345/2 d.	Ø 10	78,5	60,6	351	720	21,2	19	20	15		-20		
Chemická analýza % Chemische Analyse %														
Rožbor z výrobku - jezdě se o sumpřeváž.														
	Čís. tavby Schmel. Nr.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V			
Předpis Vorschrift		0,52	0,40	0,90	0,035	0,035	0,30	0,30	0,30	0,08	0,05			
Tavební anal. Schmelzeanal.														
Rožbor z vyr. Stückanalyse	30 249	0,52	0,23	0,07	0,015	0,002	0,07	0,08	0,23	0,01	0,00			
Orientace zbytkových pruhů Richtung der Eigenspannungen														
Tvrdost HB v průřezu vance Beinlöhärte Radkranzquerschnitt														
Předpis Vorschrift	min. 1 mm	39. 104 "B" 230-275 HB 346.												
Výsledk. zkoušky Istwerte	30. - 2,0 mm	1	257	3	255	6	252	1	259	3	269	6	260	
	346. - 1,0 mm	2	244	4	245	7	244	2	255	4	255	7	252	
			5	213										
Ostatní zkoušky dle kontraktu Weitere Prüfungen lauft Kontrakta														
Vše uvedené zkoušky vyhovely předpisům Die oben angeführten Prüfungen stimmen														
BOHEMIA TRAFANS a.s.										Bohumín 15. 3. 2001				
METALURGICKÁ ZKŮŠEBNA 2										54 ČESKÉ DRÁHY Inspektor technického dozoru Ž.Š.Č.				
Úřední razítko Dienststempel	TK a PÚ závodu TK u. Os Radsatzbetrieb					Úřední razítko Dienststempel					Zástupce odběratele Güterprüfer			

Forschungsbericht  
Auftrag 12 75789/JR/

S. 29/29

Institut für Materialphysik der Akademie der Wissenschaften der  
Tschechischen Republik, öffentliches Forschungsinstitut

Anlage 2

 <b>BONATRANS</b> BONATRANS GROUP a.s., Metallurgische Prüfstelle Prüflabor Nr. 1244 - akkreditiert durch das ČIA (Tschechische Akkreditierungsinstitut) Revoluční 1234, 735 34 Bohumín, Tel./Fax.: 597 082 266, E-Mail: zjedrejcit@bonatrans.cz		 	<b>Protokoll Nr.</b> <b>21430/2011/DK/A</b>	Seite 1/1	
Kunde:	ÚOŘ – p. Kufa	Vertragsnummer: (Bestellung, Verzeichnis)		Kunde:	ÚOŘ – p. Kufa
Gegenstand der Prüfungen:	Auftrag:	Stahlsorte:	Umformplan:	Gegenstand der Prüfungen:	
	---	EA4T	221.42		
	Prüfung:				Erzeugnis:
	Magnetische Kontrolle Übergang Blatt-Kranz				Rad

Überprüft nach:	EN 13262, SOP80-955	
Prüfparameter:		
Verwendetes Gerät:	Manueller Elektromagnet, TWM 220 A (Art. Nr. 238336), UV-Lampe (Art. Nr. 24002)	
Magnetisierung:	Min 3200 A.m <sup>-1</sup>	
Restmagnetismus:	Max. 320 A.m <sup>-1</sup>	
Lichtintensität:	UVA min. 15 w.m <sup>-2</sup>	
Intensität des Weißlichts:	Max. 10 lx	
Erkennungsmittel:	Fluoreszierende Suspension, Sedimentinhalt min 0,2 ml/100 ml	
Eingestelltes Bewertungskriterium:	Berthold-Messlehre	
Oberflächenzustand:	Bearbeitet – gestrahlt	
Ergebnis der Prüfung:		
Schmelze	St.	Ifd. Nr.
36904	1	364
<p>Auf dem Übergang Blatt – Kranz wurde auf dem abgeschliffenen Teil eine Anzeige mit einer Größe von ca. 8 mm gefunden, diese Anzeige wurde teilweise abgeschliffen. Außerhalb des abgeschliffenen Bereichs, an der Stelle mit der Erhebung, wurde durch die magnetische Prüfung keine Anzeige gefunden.</p> <p>Bemerk.: Die Oberfläche des Rades wurde durch Sandstrahlen behandelt, was ein Erkennen von Fehlern durch die Methoden MT verhindern kann.</p>		
Insgesamt St:	1	

Anlagen : 1					
Prüfdatum:	15.12.2011	Kontrolliert:		Genehmigt:	Leiter Metallurgische Prüfstelle
Prüfer:					
Ausstellungsdatum:	19.12.2011	Unterschrift:		Unterschrift:	
Aussteller:					

Die Prüfergebnisse betreffen nur die Prüfgegenstände. Das Protokoll kann nur als Ganzes vervielfältigt werden.  
60-800f