Systemtechnik

ÖVG-Seminar SQUATS

Dr.-Ing. Katrin Mädler, Dipl.-Ing. Mathias Luther

Seriensquats

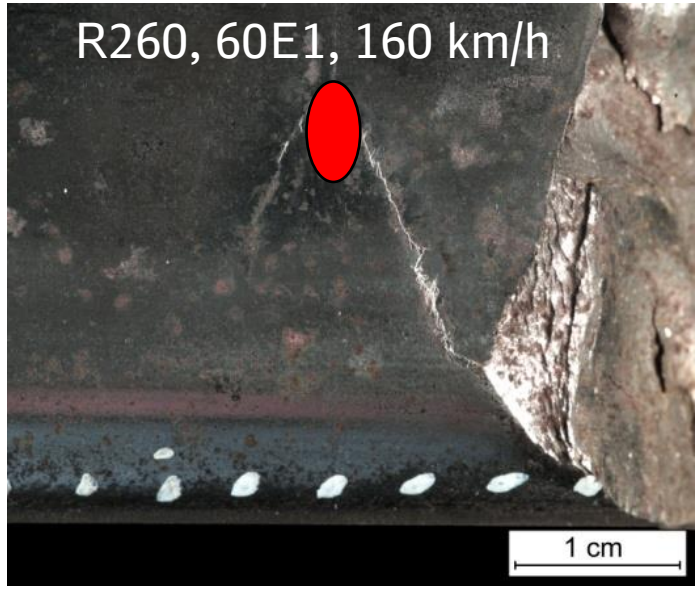
Angewandte Forschung im Auftrag der DB Netz AG

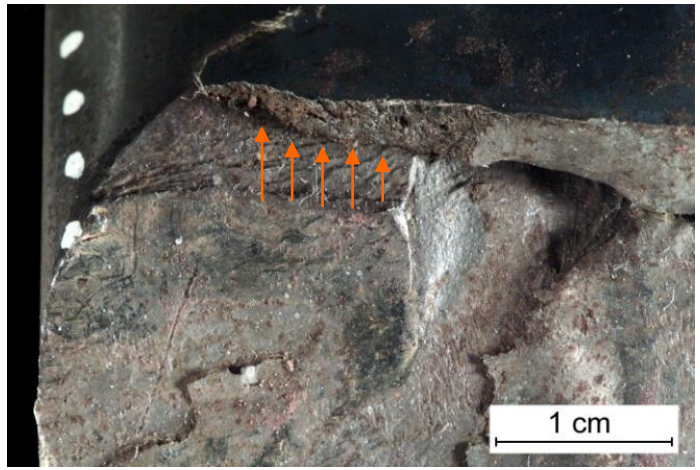
13.09.2021 | Graz

Inhalt

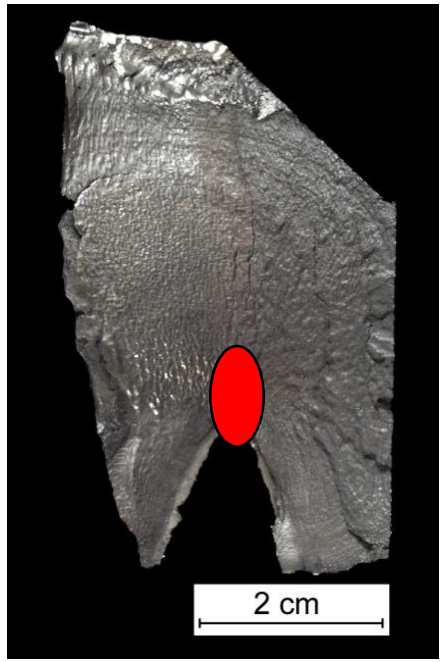
1. Squats – Ein altes Thema
2. Seriensquats – Ein neue(re)s Thema
3. Das Projekt Seriensquats – Ursachen und Abhilfemaßnahmen
4. Teilprojekt „Squatentstehung und –wachstum“
5. Teilprojekt „Großversuch zur Schleifqualität“
6. Teilprojekt „Einfluss der Fahrzeugantriebe“
7. Projektvorschlag: Auslegungsparameter für Antriebs- und Bremssysteme zur bedarfsgerechten Konditionierung (ab 2022)

1. Squats
Ein altes Thema





Katrin Mädler, René Heyder:
Weiches Rad und harte Schiene oder umgekehrt? Zum Einfluss des Werkstoffes von Rad und Schiene auf den Verschleiß am Kontakt-Partner



- Rissbildung an Defekten (z.B. Eindrückungen, Head Checks, Fahrkantengrat, Weiße Schichten/ Riffel) an der Oberfläche
- Rissausbreitung im Bereich des Schubspannungsmaximums unter der Oberfläche

Systemtechnik

2. Seriensquats

Ein neue(re)s Thema - Ursprung der „Sofortmeldungen“

Strecke 5634
Landshut – Bayer. Eisenstein
RN Bayerwald
1408 Squats über 23,6 km

Strecke 1263
Stade - Bützfleth
PD Hamburg
250 Squats über 7 km

Strecke 1210 Elmshorn – Westerland (Hindenburgdamm)
PD Kiel
1246 Squats über 500 m

Strecke 1522
Oldenburg - Wilhelmshaven
PD Bremen
300 Squats über 7 km

Strecke 2631
Hürth - Ehrang
RN Eifel-Rhein-Mosel
300 Squats über 100 km

Strecke 1100
Lübeck - Puttgarten
PD Kiel
600 Squats über 80 km

Strecke 1220
Hamburg Altona - Kiel
PD Kiel
250 Squats über 80 km

Strecke 1150 Lüneburg - Büchen
RN Elbe - Weser
266 Squats über 30 km

Systemtechnik

2. Seriensquats
Die neuen Head Checks?

- Squats zunehmend als **serieller Fehler** über mehrere Meter bis Kilometer Länge auftretend => **„Seriensquats“**
- Mittlerweile bei fast allen europäischen Bahnen der häufigste Schienenfehler, allein bei **DB Netz** zwischen 2014 und 2020 in mehr als **2.000 Gleisabschnitten**
- mit den gängigen Gleisinspektionsmethoden erst sehr spät detektierbar
- Detektion durch Ultraschall-Prüfzüge in der Regel erst bei großen Schädigungstiefen
  - Beseitigung meist nur durch massives Schleifen/Fräsen oder Wechsel der betroffenen Schienen möglich

Seriensquats auf der Marschbahn Sylt
Quelle: DB Netz AG

2. Seriensquats

Was hat sich geändert im Eisenbahnbetrieb?

Anteil kopfgehärteter Schienen gestiegen: Kopfgehärtete Schienen anteilig am stärksten betroffen, insbesondere, wenn in ungeeigneten Abschnitten (gerades Gleis) verlegt

Präventives Schienenschleifen, oft mit Unterschleifen der Fahrkante → schmalere Kontaktzone Rad/Schiene

Moderne Antriebs- und Bremssteuerung in Verbindung mit hoher Kraftschlussausnutzung

Systemtechnik

3. Das Projekt Seriensquats – Ursachen und Abhilfemaßnahmen

Was bekannt ist: Grundsätzliche Einflüsse auf die Seriensquat-Entstehung

- Hohe Längskräfte, leichte Fahrzeuge, höherfeste Schienenstähle, evtl. auch die Schienenbearbeitung, Weiße Schichten (WEL) oft als Riss-Starter

Projektziele und –inhalte

1. **Schwell- / Grenzwerte** für die Squatentstehung und **Wachstumsgesetze** für den Rissfortschritt (Prüstandsversuche), Einfluss des Schienenstahls auf Neigung zu WEL (Defekttoleranz) und Risswachstum, zur Rissausbreitung führende (kritische) Beanspruchungen
2. Gibt es kritische **Schienenbearbeitungsverfahren/-szenarien?**
   Einfluss der **Oberflächenqualität** nach der Bearbeitung auf die Rissbildung (Rissinitiierungsversuche auf dem Prüfstand)
3. Konkrete **Einflüsse des Fahrzeuges** auf die Bildung von Squats, kritische Kombinationen Traktion/Radsatzlast, Rollierschwingungen durch Traktionssteuerung (in Zusammenarbeit mit Fahrzeugherstellern)
4. **Detektierbarkeit der Seriensquats** durch Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP), ZfP-Methoden für frühzeitige Erkennung von Seriensquats für wirtschaftliche Beseitigung

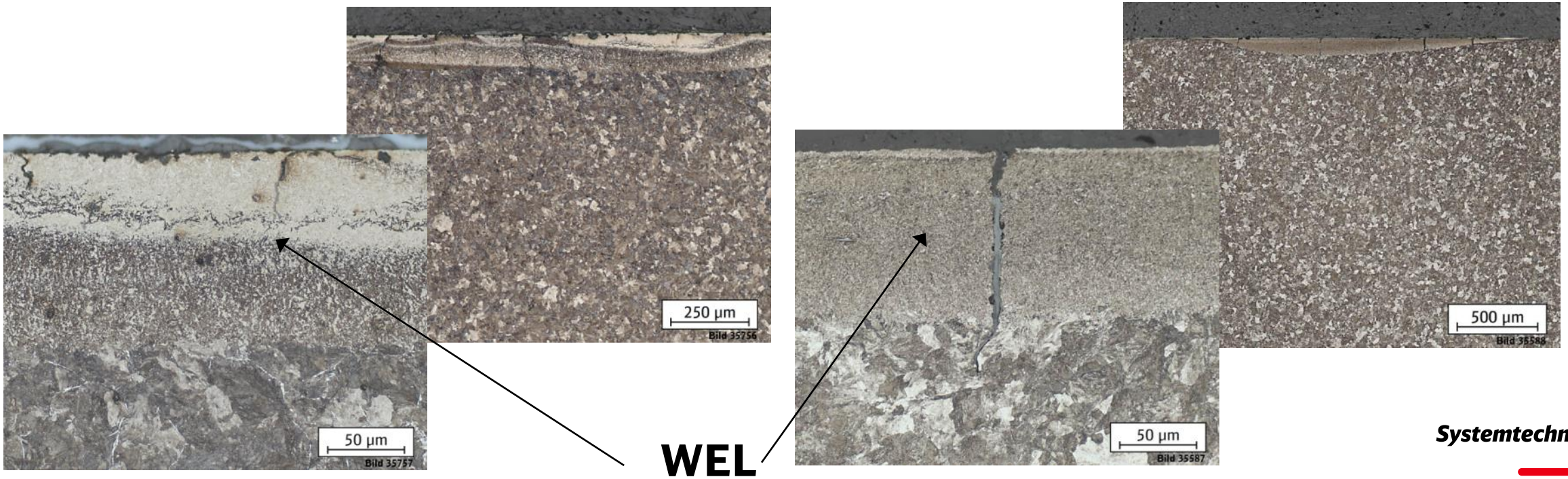
Systemtechnik

4. Teilprojekt „Squatentstehung und –wachstum“

Was initiiert Seriensquats?

- im Umfeld von Seriensquats häufiger regelrechte **Wärmeeinflusszonen** vorhanden
- D. h. sehr dicke Weiße Schichten (**White Etching Layer, WEL**),
  - zum Teil mehrlagig und mehrfach angelassen, d.h. wiederholter Wärmeeintrag an ein und derselben Stelle

Schlussfolgerung: Traktion, d.h. Antrieb/Bremse, von Einfluss



Systemtechnik

4. Teilprojekt „Squatentstehung und –wachstum“

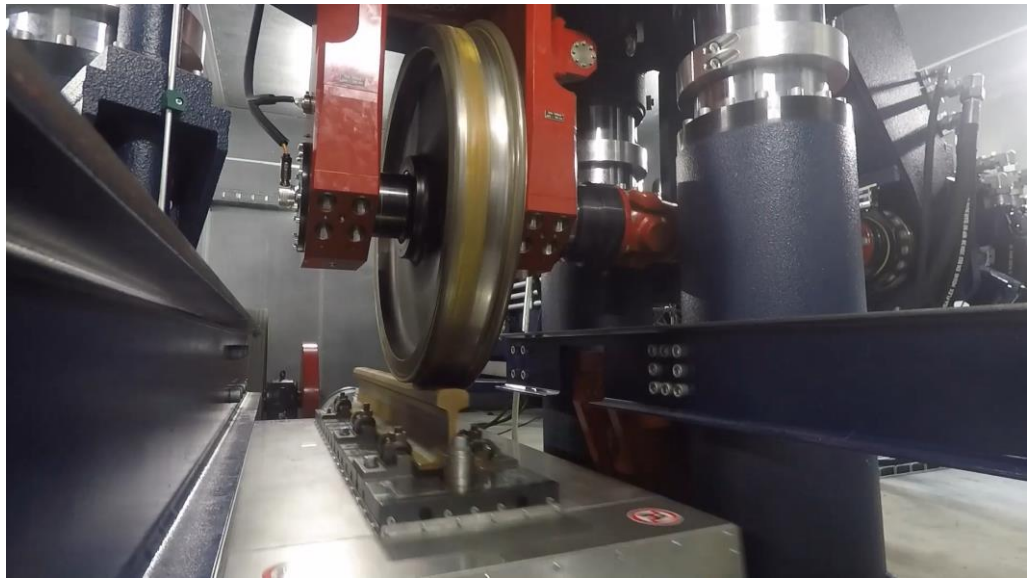
Initiierung von Squats im Prüfstandversuch

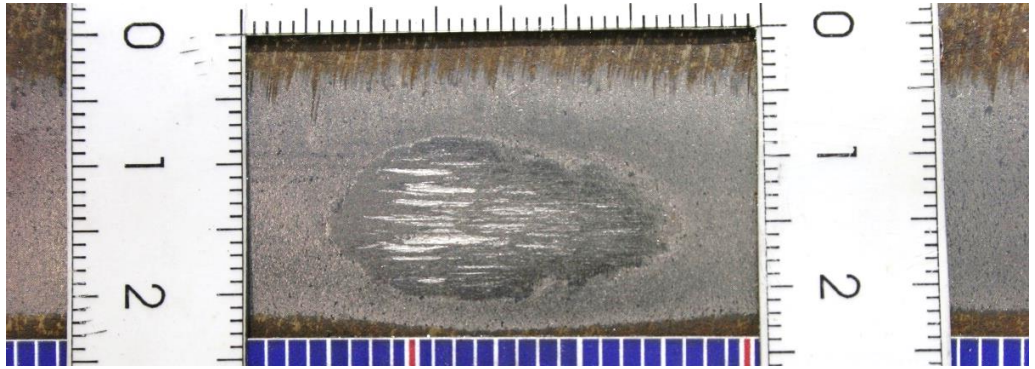
Entstehung von Squats

- Schienenwerkstoff: R350HT
- verschiedene **Prüfszenarien mit squatförderlichen Bedingungen**
- Schienen mit definiert erzeugten WEL als Initial-defekt
- Variation von Normal- u. Längskräften, Feuchtigkeit

Wachstum von Squats

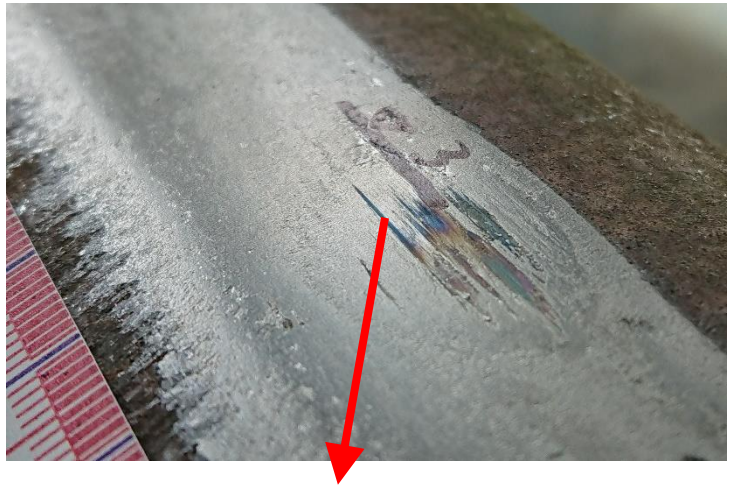
- Schienenwerkstoff: R260, R350HT
- verschiedene **Prüfszenarien mit maximal squatförderlichen Bedingungen**
- Schienen mit definiert erzeugten WEL als Initialdefekt
- Variation von Normal- u. Längskräften, Feuchtigkeit

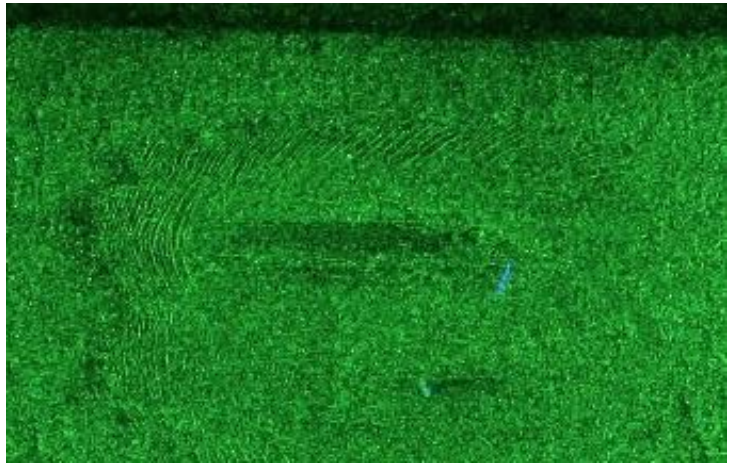


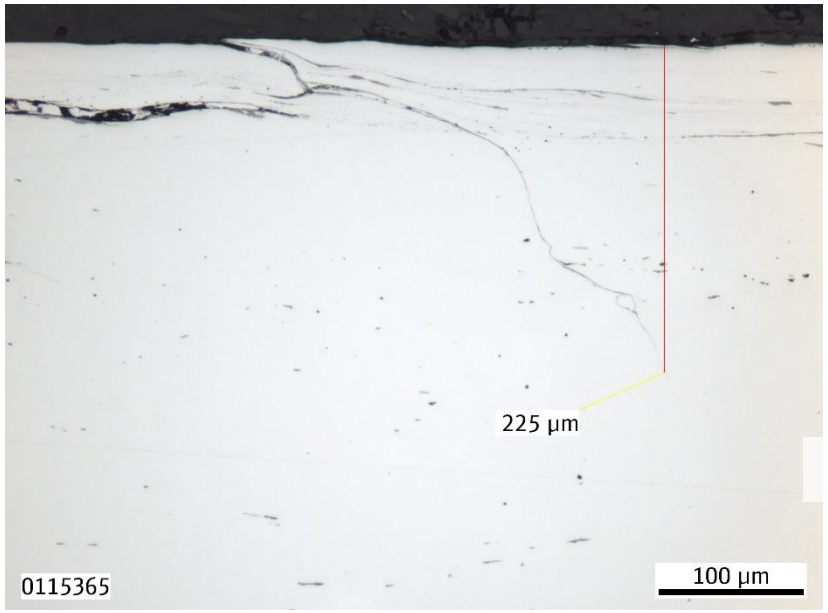


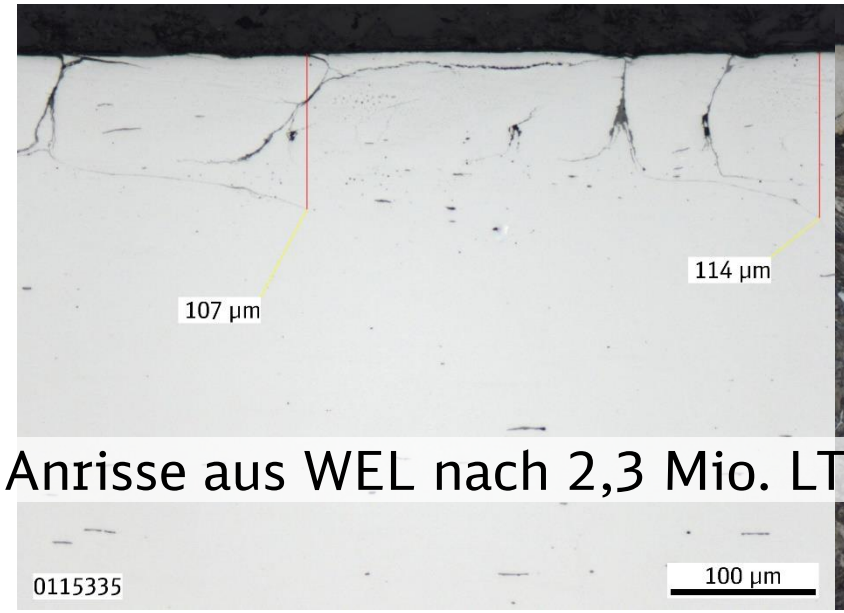
4. Teilprojekt „Squatentstehung und –wachstum“

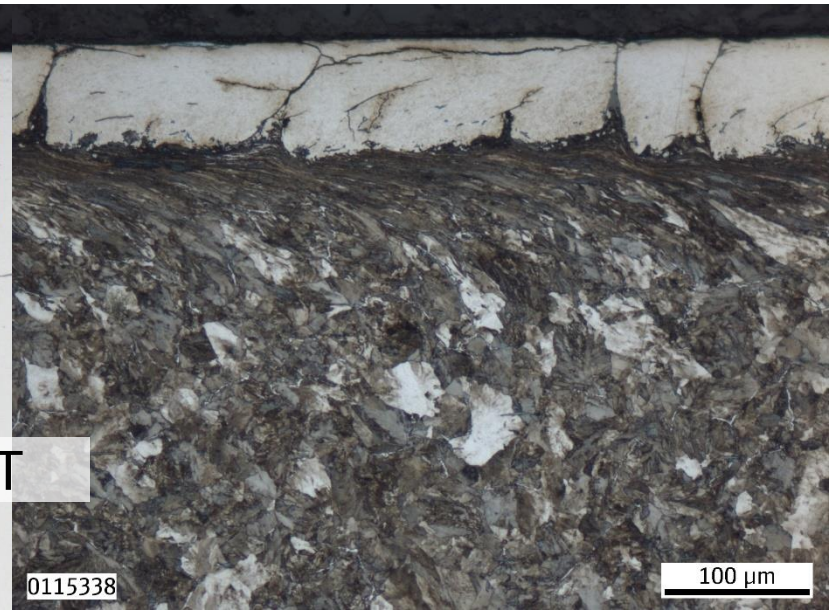
Squats im Prüfstandversuch









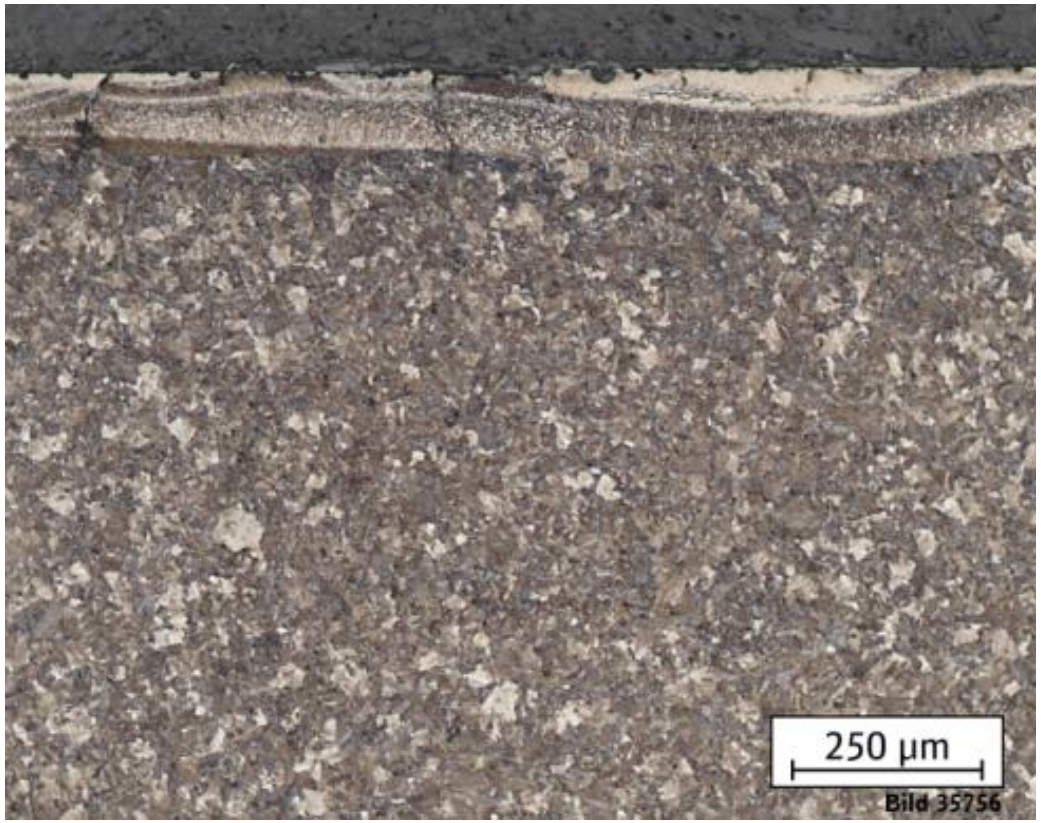


Anrisse aus WEL nach 2,3 Mio. LT

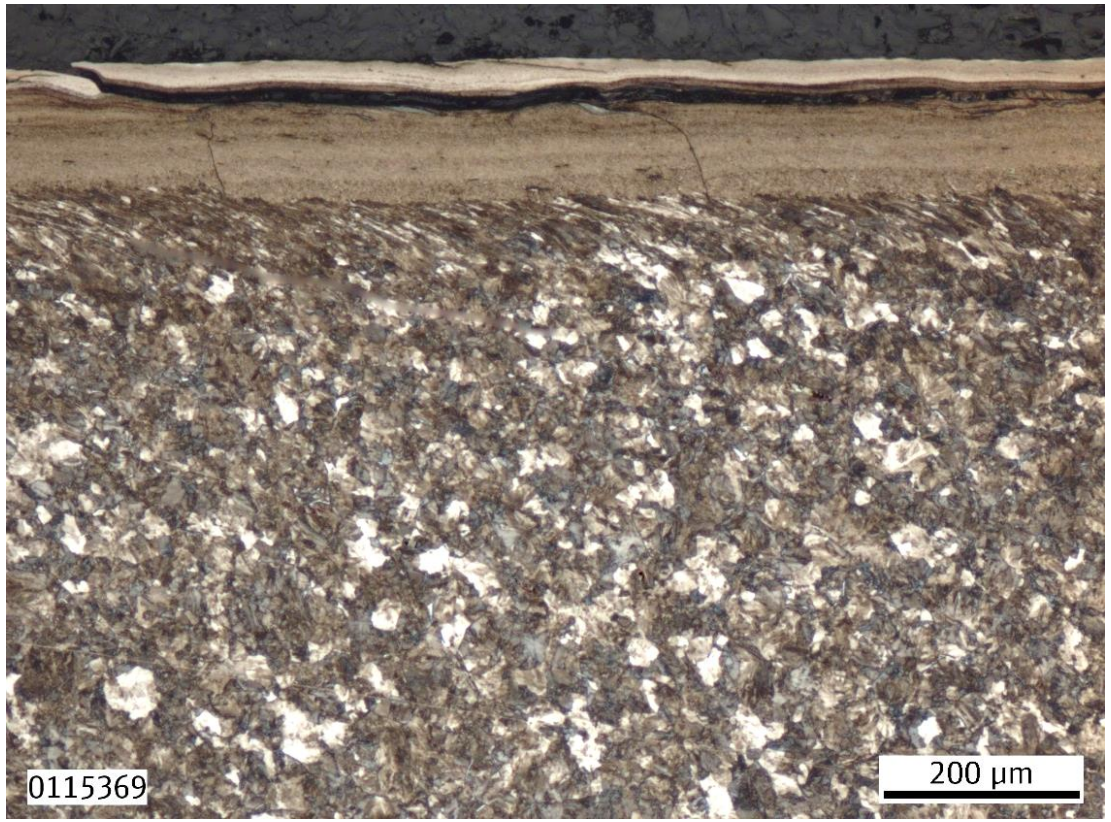
4. Teilprojekt „Squatentstehung und –wachstum“

Squats im Prüfstandversuch

Reale Fahrfläche mit Seriensquats
(HGV-Strecke, gerades Gleis, R350HT, 237 MGT)



Fahrfläche nach Prüfstandsversuch
(Prüfstand, „gerades Gleis“, R350HT, 18 MGT)

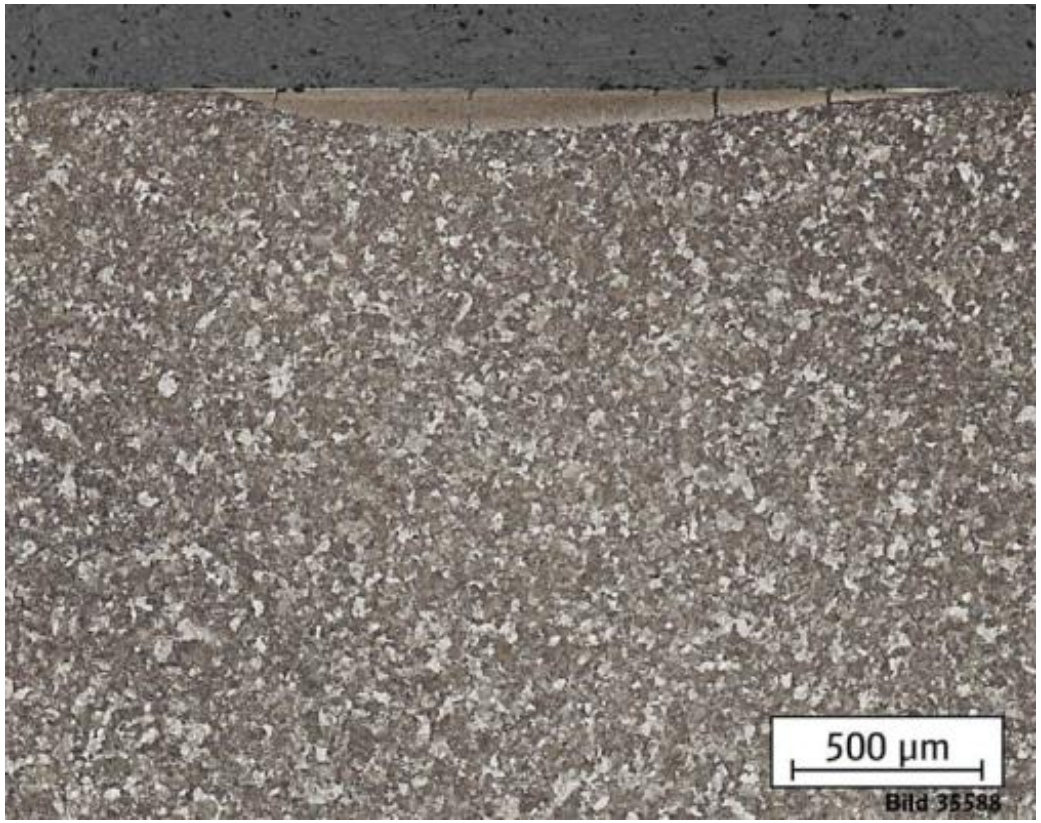


Systemtechnik

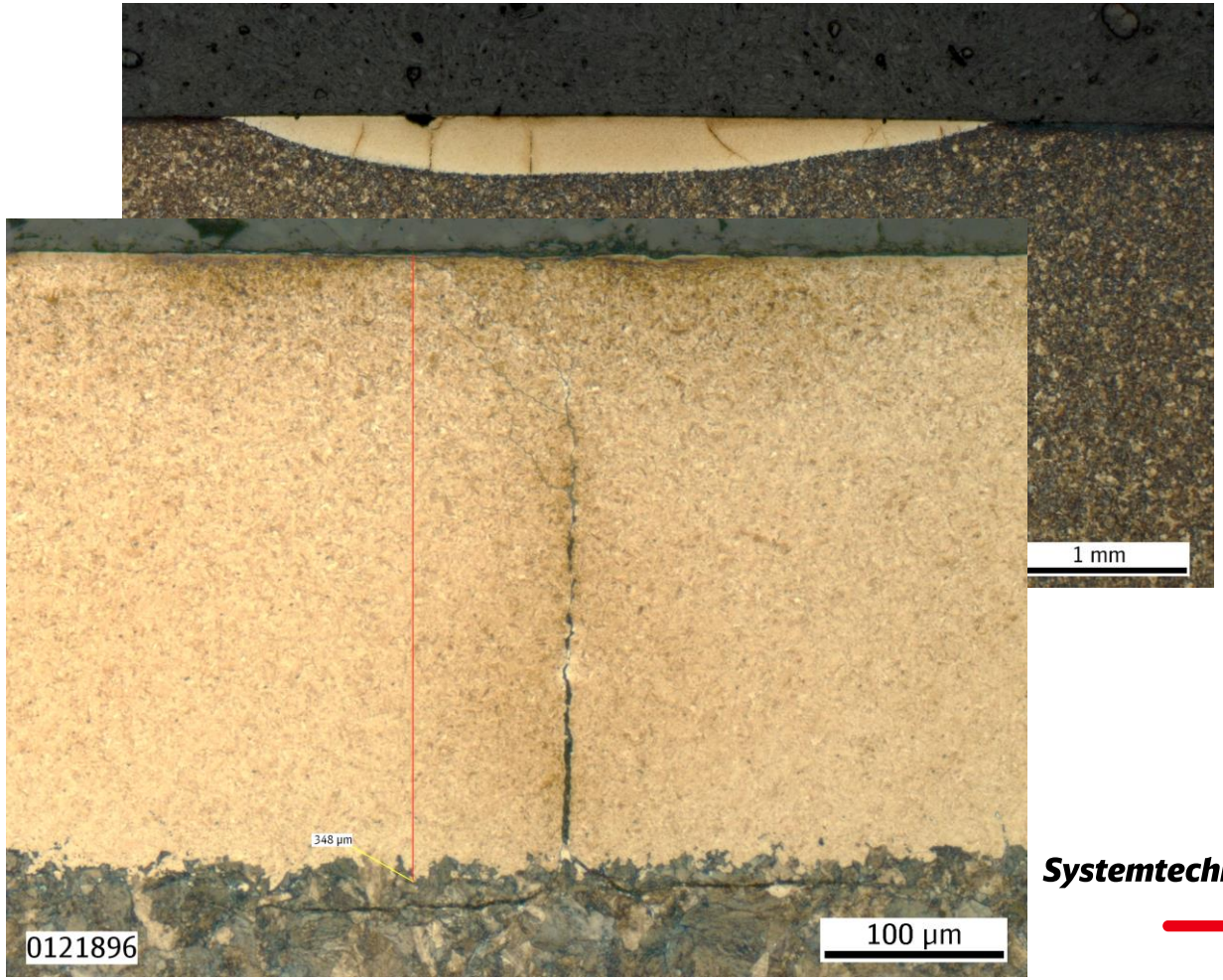
4. Teilprojekt „Squatentstehung und –wachstum“

Squats im Prüfstandversuch

Reale Fahrfläche mit Seriensquats
(HGV-Strecke, gerades Gleis, R350HT, 237 MGT)



Fahrfläche nach Prüfstandsversuch
(Prüfstand, „gerades Gleis“, R350HT, 18 MGT)



Systemtechnik

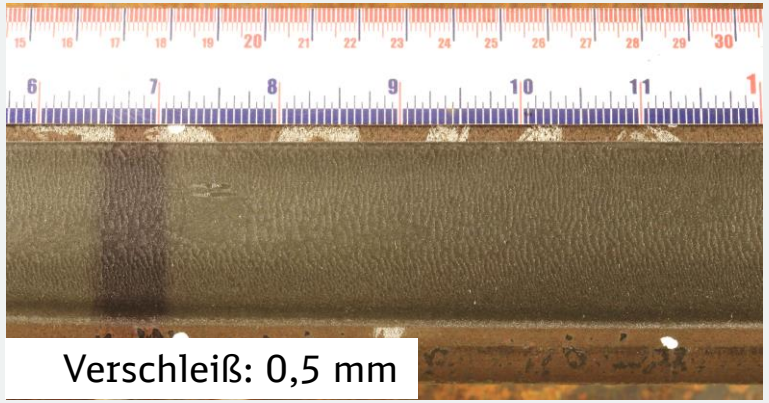
4. Teilprojekt „Squatentstehung und –wachstum“
Prüfstandversuche

Einfluss von Längs- und Normalkraft auf Risswachstum:

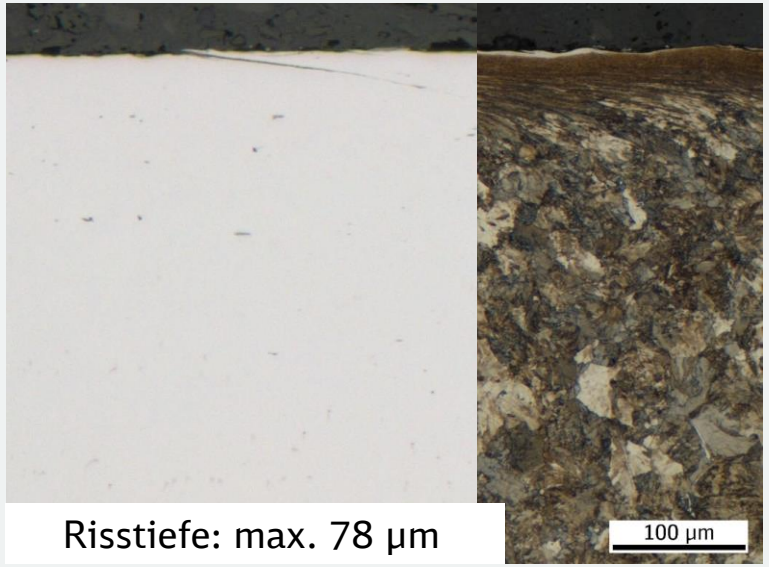
- Schienenwerkstoff: R350HT, Radwerkstoff ER9, gerades Gleis
- 1. Versuch: 18 MGT mit 20 kN Längskraft
- 2. Versuch: 3 MGT mit 20 kN Längskraft, 15 MGT reines Rollen

Ergebnis: Hohe Traktionsanteile (auch bei geringem Schlupf) hemmen Risswachstum durch höheren Schienenabtrag

100% Traktion

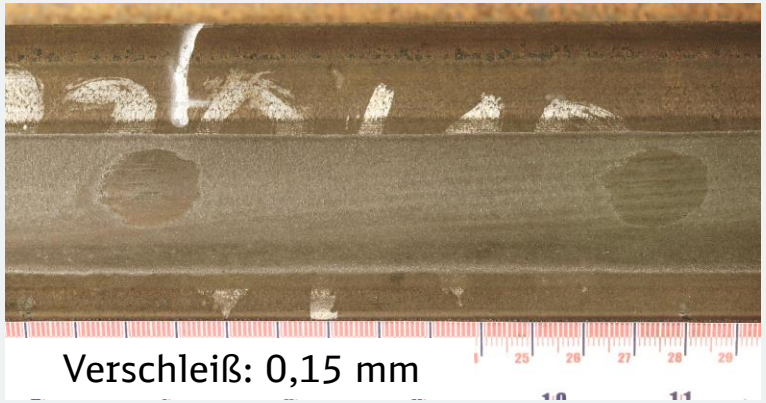


Verschleiß: 0,5 mm

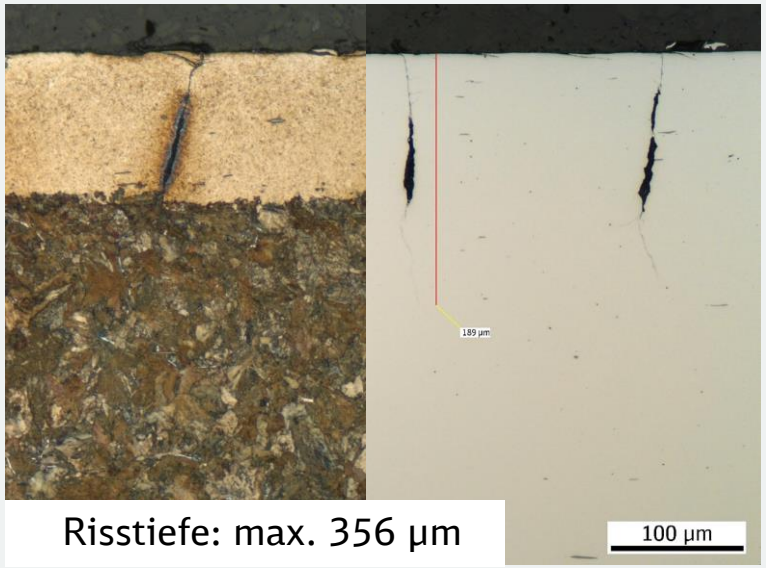


Risstiefe: max. 78 µm

20% Traktion / 80% Rollen



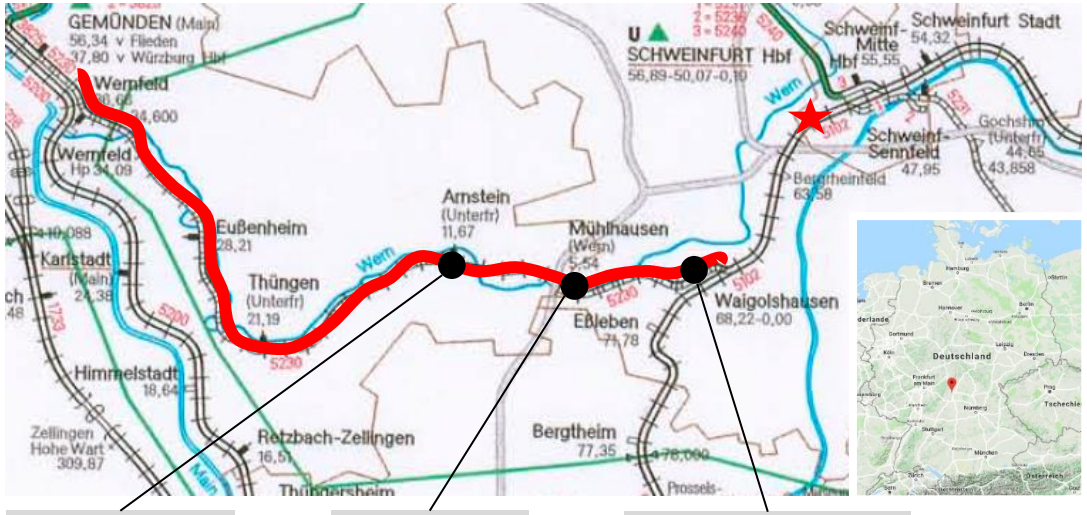
Verschleiß: 0,15 mm

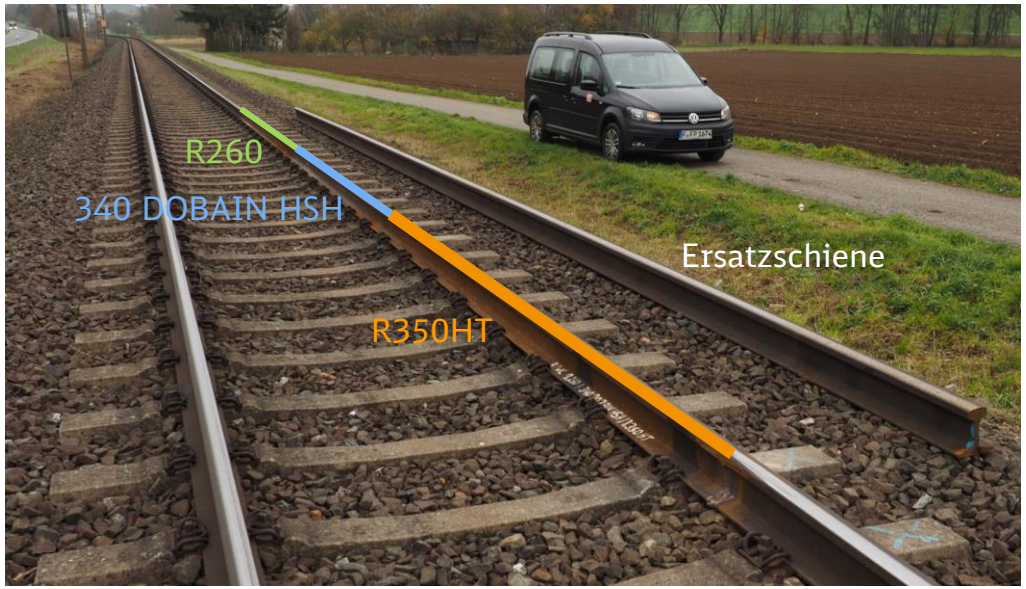


Risstiefe: max. 356 µm

5. Teilprojekt „Großversuch zur Schleifqualität“

- Schleifversuch im November 2019 bei Würzburg (Strecke 5230 Waigolshausen-Gemünden)
- Beteiligte Schleiffirmen: Speno, Schweerbau und Vossloh
- Versuchsschienen aus R260 und R350HT + 340 DOBAIN HSH in drei Abschnitten





Systemtechnik

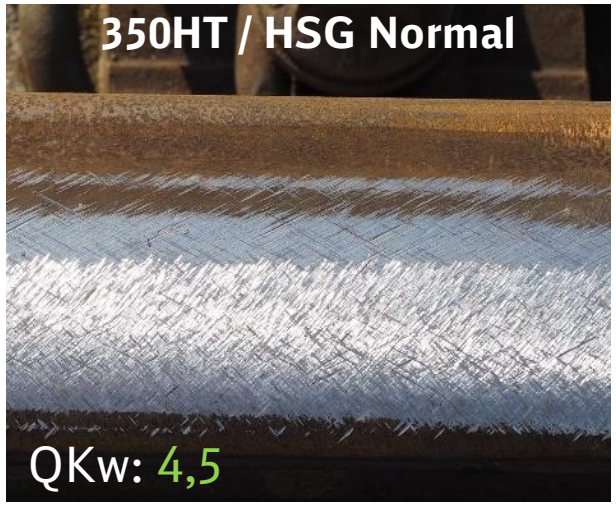
5. Teilprojekt „Großversuch Schleifqualität“

12 Schleifszenarien

- **3 Schienenwerkstoffe**: R260, 340DOBAIN, R350HT
- **2 Schleifverfahren**: Two-Pass-Grinding, High-Speed-Grinding
- **2 Schleifvarianten**: Normal, Aggressiv („Worst Case“)

Untersuchungsprogramm

- Querprofilabzeichnung / Abtragsmessung
- Rauheitsmessungen (RM150HG)
- werkstofftechnische Nachuntersuchung der Schleifqualität (Schleifriefentiefe, thermische Vorschädigungen) nach Ausbau der Schienen



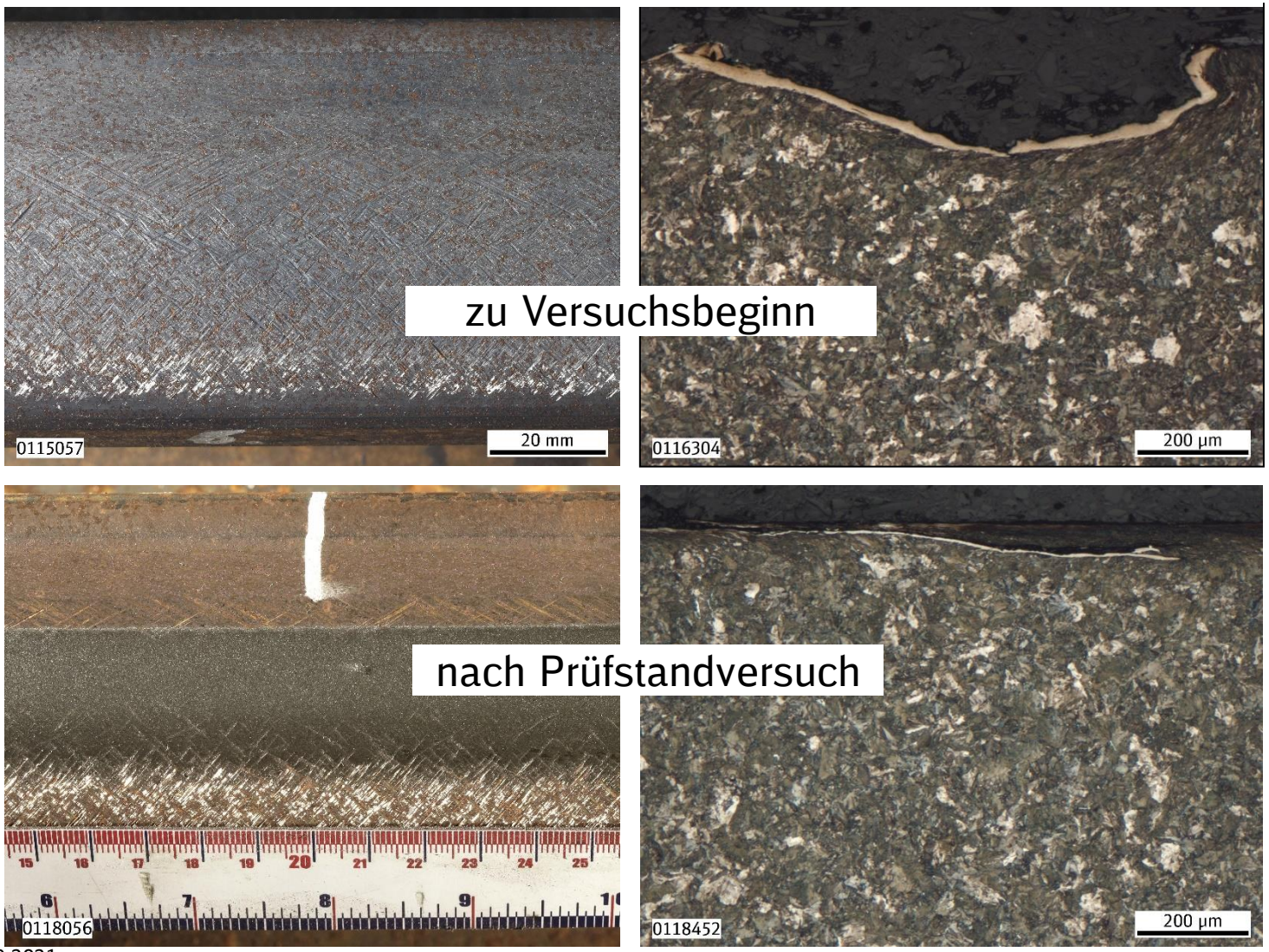
Systemtechnik

4. Teilprojekt „Großversuch Schleifqualität“

Überrollversuche auf dem neuen Linearprüfstand der DB Systemtechnik

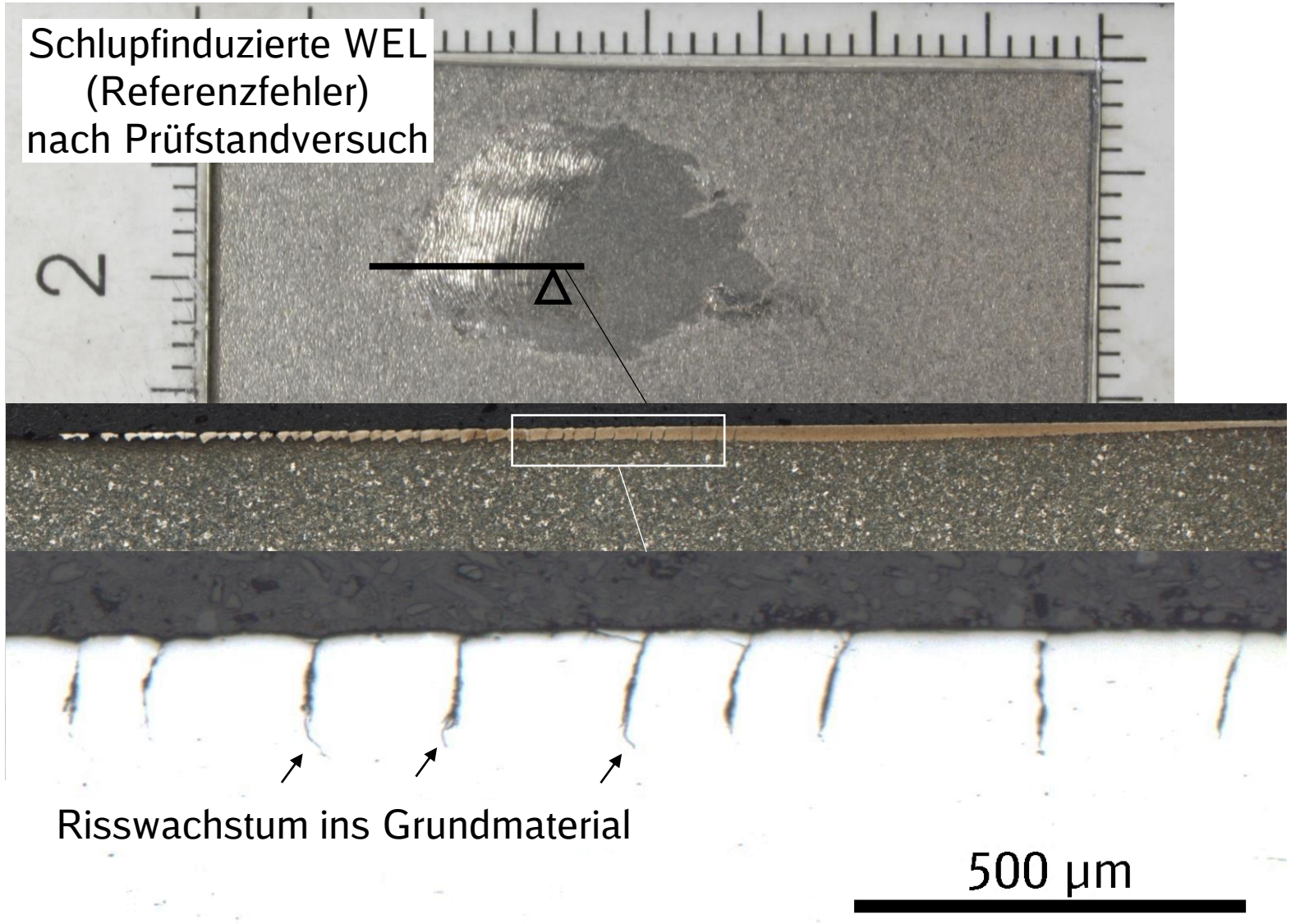
- Untersuchung aller nach Worst-Case-Szenario geschliffener Schienen
- hohe Traktionsbelastung bei dennoch geringem Verschleiß, 3 Mio. LT
- Im Anschluss: Nachuntersuchung auf verbliebene WEL, Anrisse, etc.

Geschliffene Schiene R350HT, HSG, Worst-Case



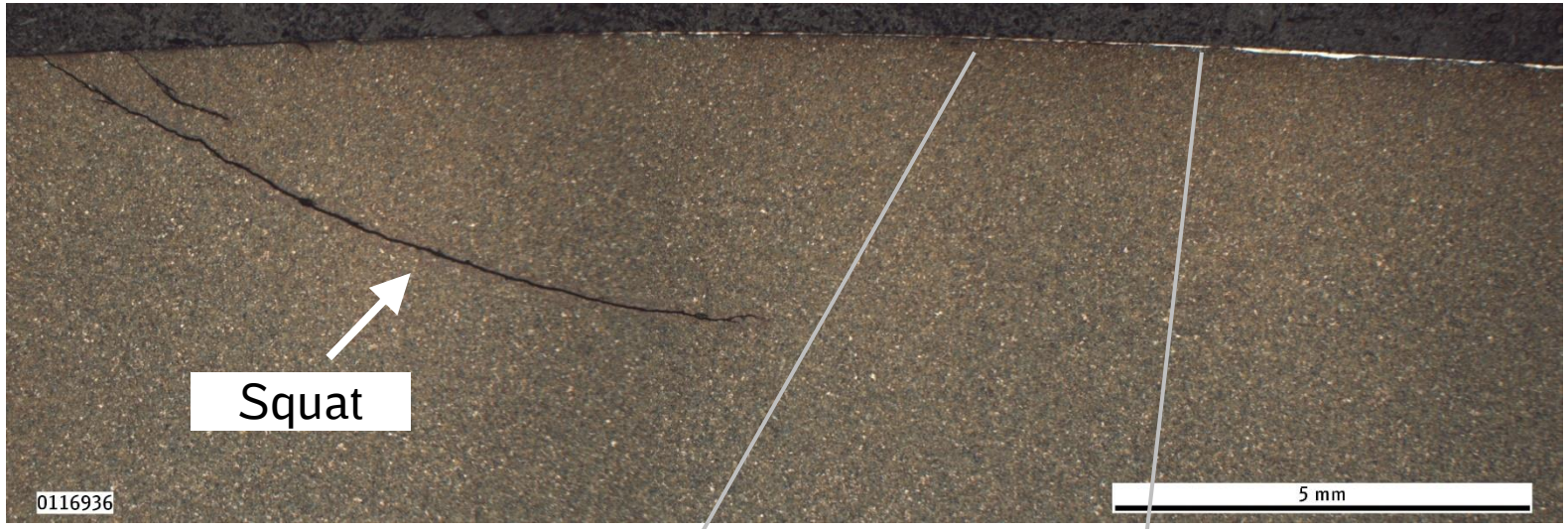
5. Teilprojekt „Großversuch Schleifqualität“

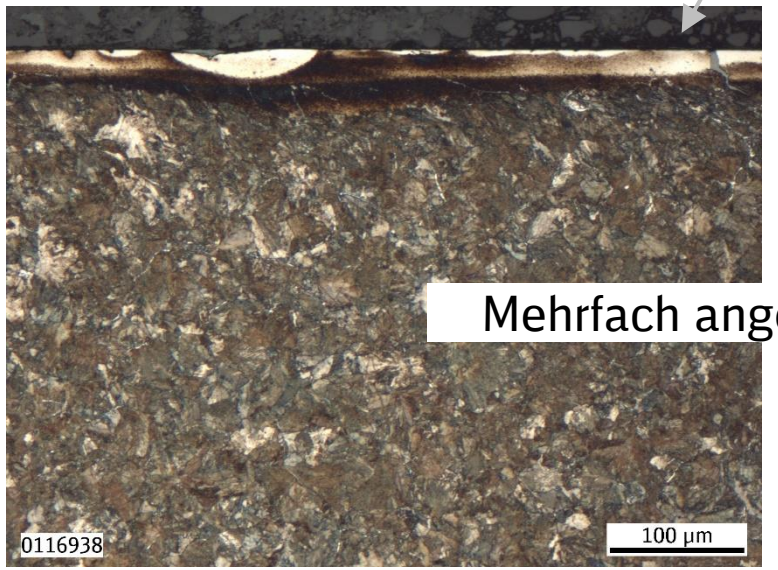
Überrollversuche auf dem neuen Linearprüfstand der DB Systemtechnik

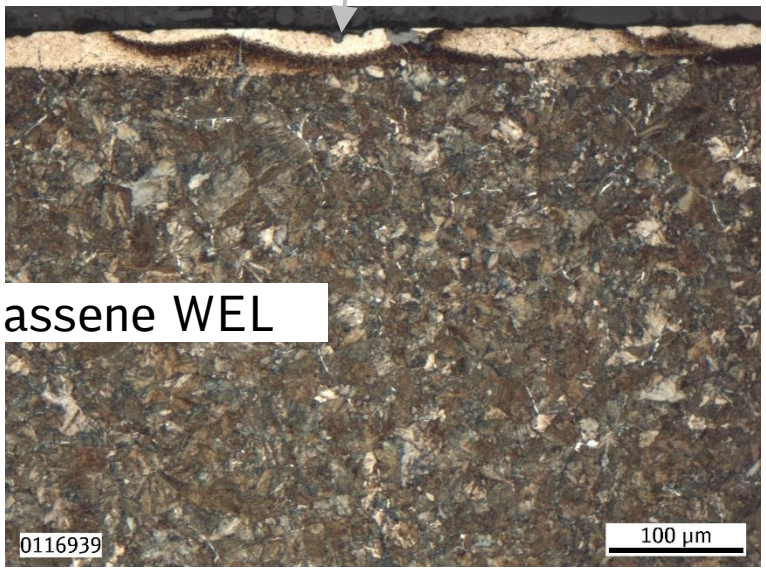


4. Teilprojekt „Großversuch zur Schleifqualität“

Beispiel für Seriensquats ohne Schienenbearbeitung







Mehrfach angelassene WEL

- S-Bahnstrecke, **Abschnitt nie geschliffen**
- Gleisbogen, 700 m Radius
- Schienenwerkstoff R350HT
- Gesamtbelastung 110 Mio. LT

6. Teilprojekt „Einfluss der Fahrzeugantriebe“

Workshops mit Fahrzeugherstellern

Teilnehmer:

- DB Systemtechnik, DB Netz, Siemens, Alstom, Bombardier

Fragestellungen:

- Wie hat sich die Kraftschlussausnutzung aus Sicht der Fahrzeughersteller in den letzten 20 Jahren entwickelt? Klarer Trend zu höherer Kraftschlussausnutzung!
- Treten Seriensquats an Schienen und Laufflächenschäden an Rädern gleichzeitig auf? Selten, aber es gibt belegbare Fälle
- Kommen neben der hohen Kraftschlussausnutzung auch Torsionsschwingungen als Ursache für Seriensquats in Betracht? Eher eine Randerscheinung
- Welche Rolle spielen neue Kontaktverhältnisse durch veränderte Profilpaarung Rad/Schiene (Stichwort: Präventive Schieneninstandhaltung)? Wenig Erkenntnisse, aber denkbar

Systemtechnik

7. Projektvorschlag: Auslegungsparameter für Antriebs- und Bremssysteme zur bedarfsgerechten Konditionierung (ab 2022)

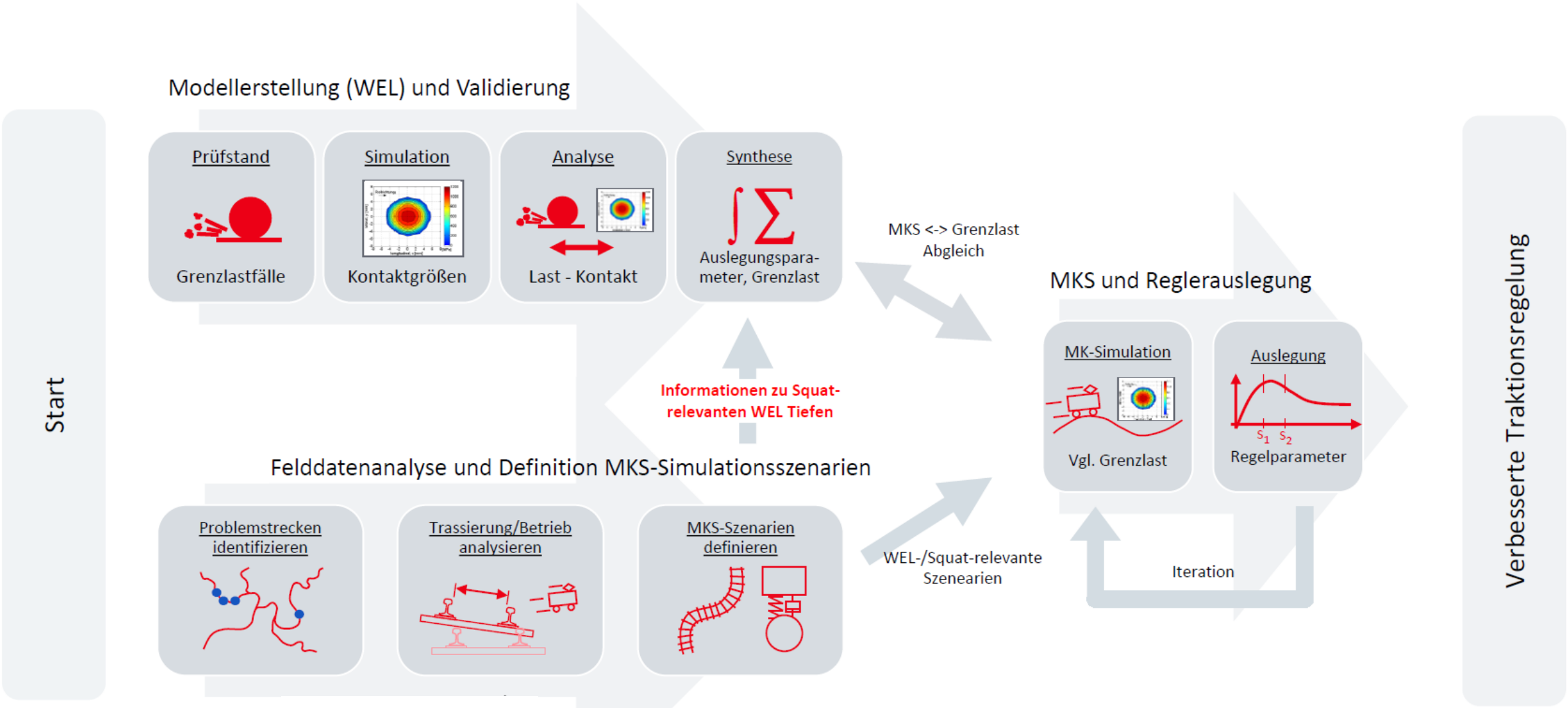
Projektpartner:

- DB Systemtechnik, DB Netz, Siemens, Alstom, Bombardier, Stadler, SBB, ÖBB, Voestalpine

Projektziele:

- Kalibriertes und validiertes Modell zur Beschreibung der **Tiefe von WEL** an Schienenfahr- und Radlaufflächen **in Abhängigkeit von Kontakt- und Betriebsbedingungen** sowie durch Schleifriefen verursachten Schienenrauigkeiten
- **Identifizierung von WEL-/ squatrelevanten Betriebsszenarien** basierend auf Simulationen und Analyse von Felddaten
- **Ableitung von Auslegungsparametern** für Antriebs und Bremssysteme (Grenzlastfälle) zur Vermeidung oder Begrenzung von WEL auf einen definierten (kritischen) Wert unter Berücksichtigung von Performancekriterien
- Anwendung der abgeleiteten Auslegungsparameter/Grenzlastfälle auf die definierten WEL-/ squatrelevanten Betriebsszenarien und entsprechende **Anpassung von Reglerparametern** von Antriebs- und Bremssystemen

7. Projektvorschlag: Auslegungsparameter für Antriebs- und Bremssysteme zur bedarfsgerechten Konditionierung (ab 2022)



8. Das Projekt Seriensquats – Zusammenfassung

Schwell- / Grenzwerte für die Squatentstehung und Wachstumsgesetze

- WEL mit Dicken ~100-200 µm führen unter Traktionsbeanspruchung reproduzierbar zur **Initiierung von Squat-Anrissen**
- Geringer Schienenverschleiß maßgeblich für **Squatwachstum** → hohe Schlüpfe/großer Traktionsanteil **wirken Squatwachstum u.U. sogar entgegen**

Gibt es kritische Schienenbearbeitungsverfahren/-szenarien?

- Schleifinduzierte WEL waren deutlich schwächer als Traktionsinduzierte
- Selbst unter Worst-Case Bedingungen wurden **keine RCF-Anrisse** initiiert

Einflüsse des Fahrzeuges auf die Bildung von Squats

- **Korrelation von Rad- und gleichzeitig auftretenden Schienenschäden** (Ausbröckelungen/ Squats) in mehreren Fällen bestätigt
- ab 2022 separates **Folgeprojekt** „Auslegungsparameter für Antriebs- und Bremssysteme zur bedarfsgerechten Konditionierung“

Systemtechnik

Haben Sie Fragen?

Sprechen Sie uns persönlich an

DB Systemtechnik GmbH
Werkstoff- und Fügetechnik

Dr. Katrin Mädler
49 160 97 44 05 60
katrin.maedler@deutschebahn.com

Mathias Luther
+49 176 21 51 04 55
mathias.luther@deutschebahn.com

Oder besuchen Sie unsere Website

www.db-systemtechnik.de
- Alle Ansprechpartner
- Alle Versuchseinrichtungen
- Broschüren zum Download

Unser Know-how ist Ihr Erfolg.

Systemtechnik

DB