

Der Einfluss von Schiene und Stahlsorte auf das Gesamtsystem Fahrweg

Albert Jörg
voestalpine Schienen
ÖVG Seminar „Zur Entwicklung von Schienenschädigungen“
Graz, September 2017

Die Eisenbahnschiene

Einfluss auf das gesamte System

➤ Schienenprofil

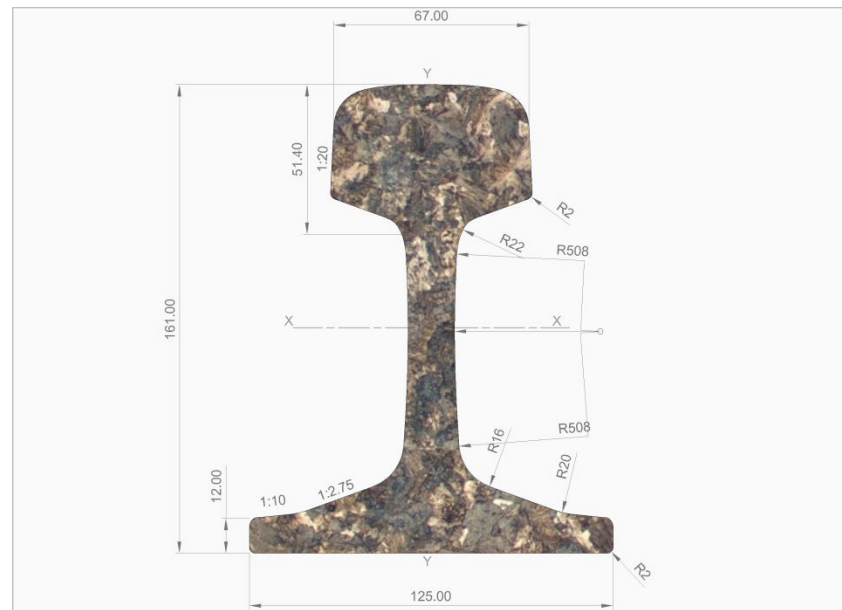
Geometrie und Abmessungen

- Querschnittskennwerte (Schiene als Träger)
- Rad/Schiene Kontaktcharakteristik (Schiene als Fahrbahn)

➤ Schienenstahlsorte

Gefüge und mechanische Kennwerte

- Widerstandsfähigkeit des Werkstoffs (Schiene als Fahrbahn)



Das Betriebsverhalten unterschiedlicher Stähle.

Betriebsverhalten: Verschleiß

- Natürliche Entwicklung dominant im Bogen

Materialabrieb

(abrasiv, adhäsiv, ermüdungsbedingt)

- Verschlechterung der Berührgeometrie
- Erhöhung der Y-Kräfte mit Auswirkung auf die Schiene, das Befestigungssystem und die Zwischenlagen
- Erhöhung der Y-Kräfte mit Auswirkung auf die Räder der Fahrzeuge



Betriebsverhalten: Verschleiß

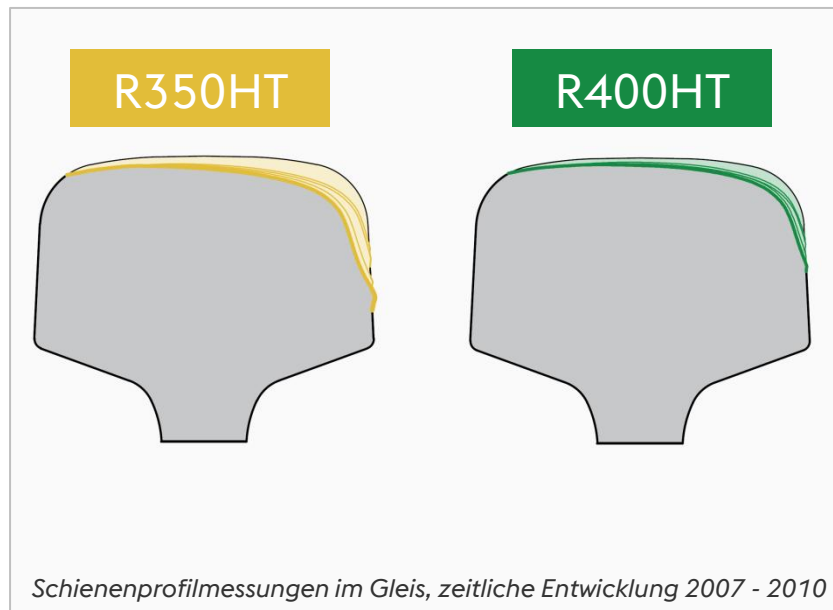
- Natürliche Entwicklung dominant im Bogen

Materialabrieb

(abrasiv, adhäsiv, ermüdungsbedingt)

- Verschlechterung der Berührgeometrie
- Erhöhung der Y-Kräfte mit Auswirkung auf die Schiene, das Befestigungssystem und die Zwischenlagen
- Erhöhung der Y-Kräfte mit Auswirkung auf die Räder der Fahrzeuge

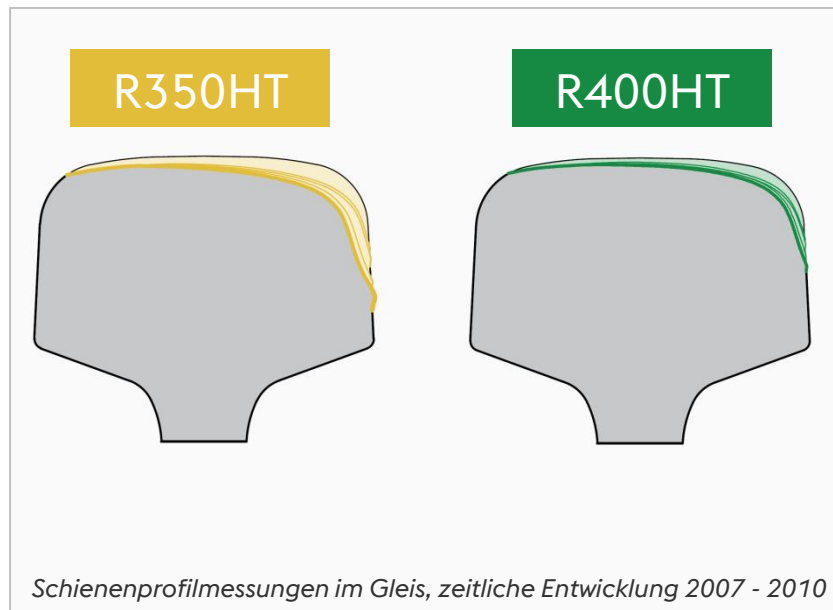
- Wirksame Bekämpfung durch hochfeste Schienenstähle



Der Beitrag moderner Werkstoffe: **Verschleiß**

Kräftearmer Bogenlauf

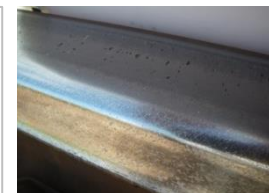
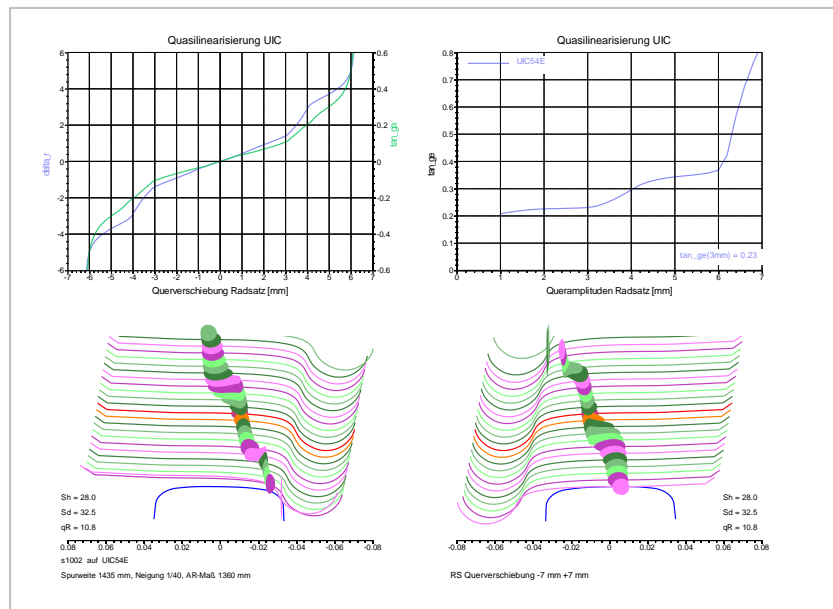
- Hochfeste Werkstoffe bieten **Profilstabilität**.
- Niedrige Bogenlaufkräfte & gute Berührgeometrie



Der Beitrag moderner Werkstoffe: Verschleiß

Kräftearmer Bogenlauf

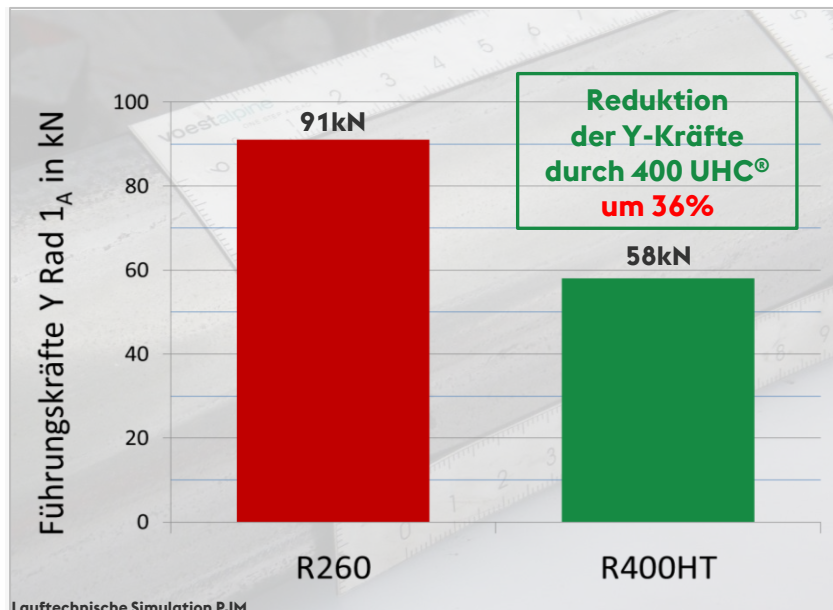
- Hochfeste Werkstoffe bieten Profilstabilität.
- Niedrige Bogenlaufkräfte & **gute Berührgeometrie**



Der Beitrag moderner Werkstoffe: **Verschleiß**

Kräftearmer Bogenlauf

- Hochfeste Werkstoffe bieten Profilstabilität.
- Niedrige **Bogenlaufkräfte** & gute Berührgeometrie



Lauftechnische Simulation PJM

aus Pietsch et al. „Der Einfluss verschleißfester Schienenstähle im Bogen und deren Einfluss auf das Laufverhalten“, ZEVrail 140 (2016)

Betriebsverhalten: Schlupfwellenbildung

➤ Natürliche Entwicklung im engen Bogen

Materialabrieb (Verschleiß)

- Verwellung des Fahrspiegels
- Einbringung von Vibrationen und Lärm mit Auswirkung auf das Schotterbett, die Schwellen und das Befestigungssystem
- Hohe Dynamische Anregung der Laufwerke der Fahrzeuge



Betriebsverhalten: **plastische Verformung**

- Natürliche Entwicklung im engen Bogen

Materialverquetschungen

- Verschlechterung der Berührgeometrie
- Erhöhung der Y-Kräfte mit Auswirkung auf die Schiene, das Befestigungssystem und die Zwischenlagen
- Erhöhung der Y-Kräfte mit Auswirkung auf die Räder der Fahrzeuge



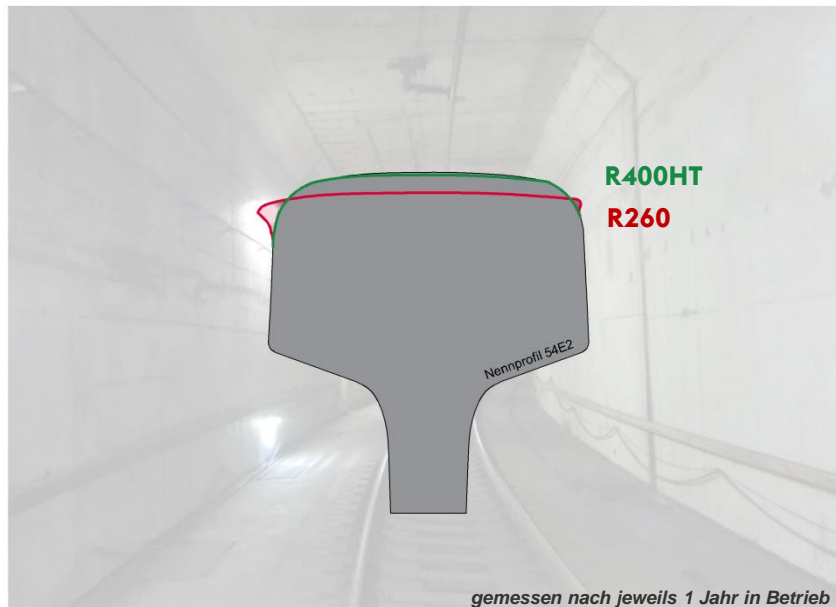
Betriebsverhalten: **plastische Verformung**

- Natürliche Entwicklung im engen Bogen

Materialverquetschungen

- Verschlechterung der Berührgeometrie
- Erhöhung der Y-Kräfte mit Auswirkung auf die Schiene, das Befestigungssystem und die Zwischenlagen
- Erhöhung der Y-Kräfte mit Auswirkung auf die Räder der Fahrzeuge

- Wirksame Bekämpfung durch hochfeste Schienenstähle

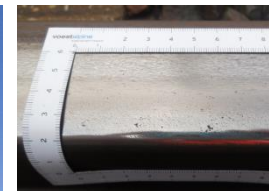


Betriebsverhalten: Rollkontaktermüdung (RCF)

- Natürliche Entwicklung im mittleren/weiten Bogen

Materialermüdung

- Rissbildung an der Fahrkante
- Gefahr von Trümmerbrüchen
- Entfernung der Risse durch Schienenbearbeitung im Gleis notwendig

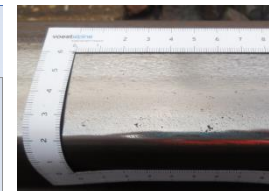


Betriebsverhalten: Rollkontaktermüdung (RCF)

- Natürliche Entwicklung im mittleren/weiten Bogen

Materialermüdung

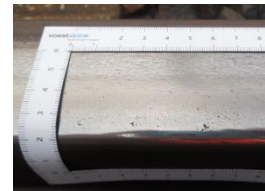
- Rissbildung an der Fahrkante
 - Gefahr von Trümmerbrüchen
 - Entfernung der Risse durch Schienenbearbeitung im Gleis notwendig
- Wirksame Bekämpfung durch hochfeste Schienenstähle



Der Beitrag moderner Werkstoffe: RCF / HC

Schlupf-optimierter Bogenlauf

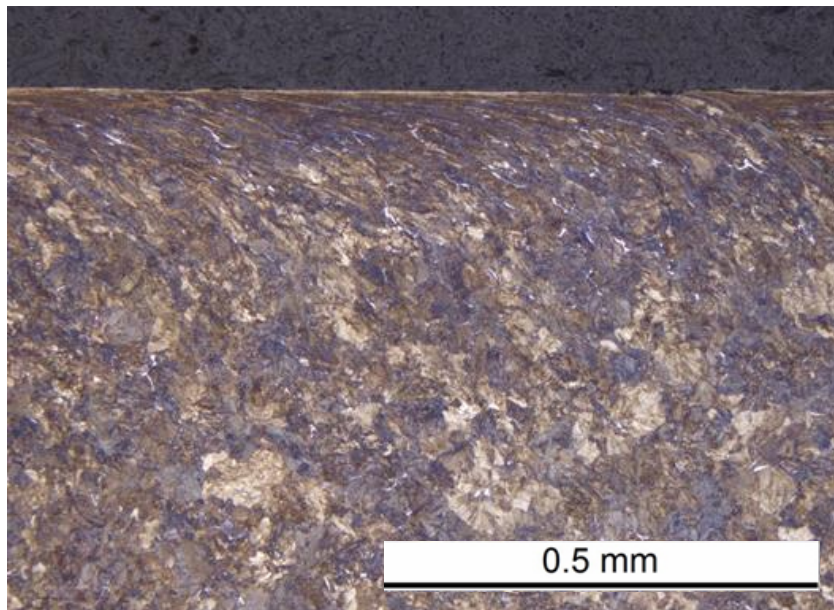
- Hochfeste Werkstoffe bieten **Widerstand gegen Bohrschlupf**.
- Berührgeometrisch optimaler Bogenlauf im weiten Bogen
- **Geringe Head Check Bildung**



Die Reaktion der Schienenstähle auf R/S Kräfte.

Hochverformung ist Basis für Schädigung

- Die Beanspruchungen im Rad/Schiene Kontakt liegen über Materialfestigkeit.
- Der Werkstoff reagiert mit Hochverformung hervorgerufen von Pressung und zyklischer Verscherung.

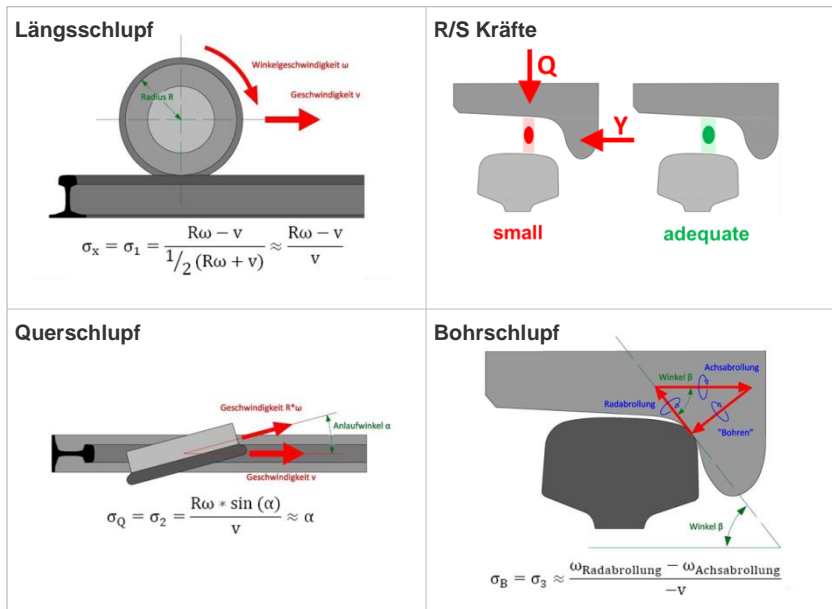


Schlupf (Reibkräfte) im Rad/Schiene Kontakt

➤ Das Auftreten von Schlupf ist Bestandteil der Rad/Schiene Kontaktbeanspruchung.

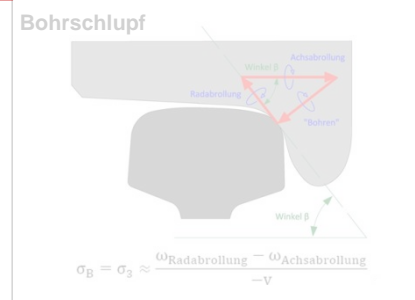
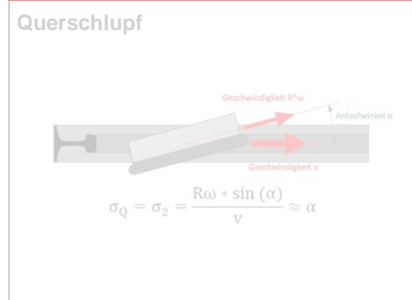
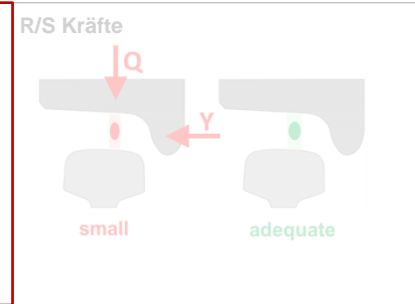
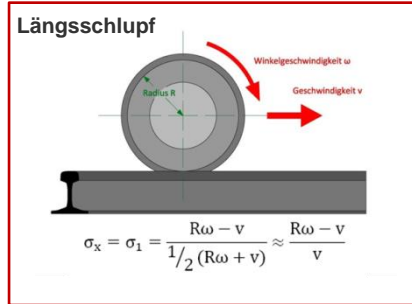
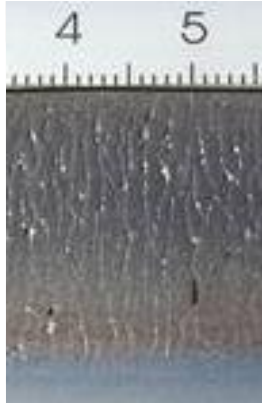
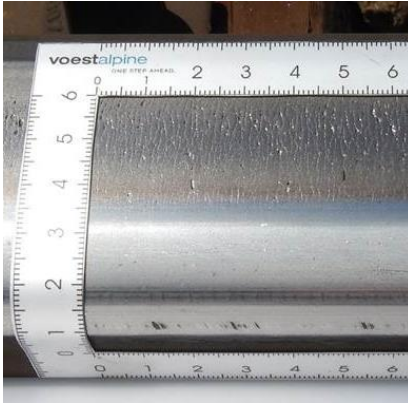
- *Längsschlupf*
- *Querschlupf*
- *Bohrschlupf*

➤ Die resultierenden Reibkräfte führen zu unterschiedlichen Rissbildern auf der Schienenoberfläche.



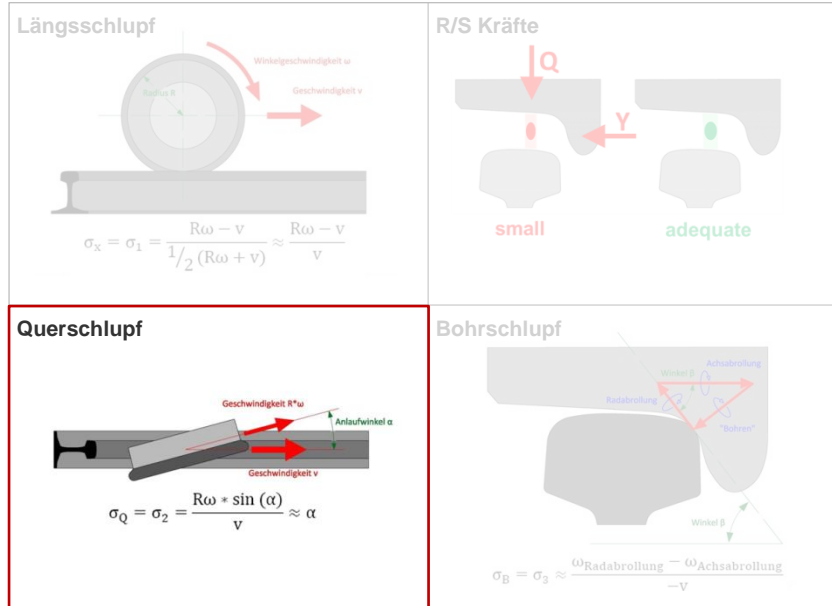
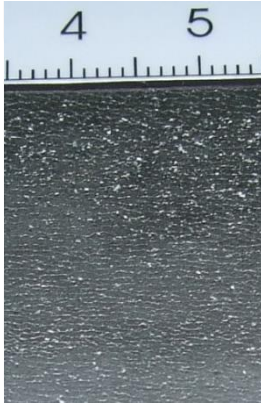
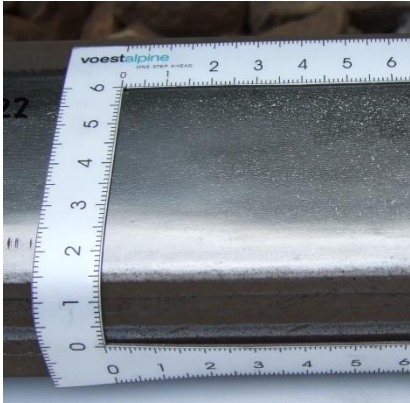
Schlupf (Reibkräfte) im Rad/Schiene Kontakt

➤ Längsschlupf: Traktionsrisse



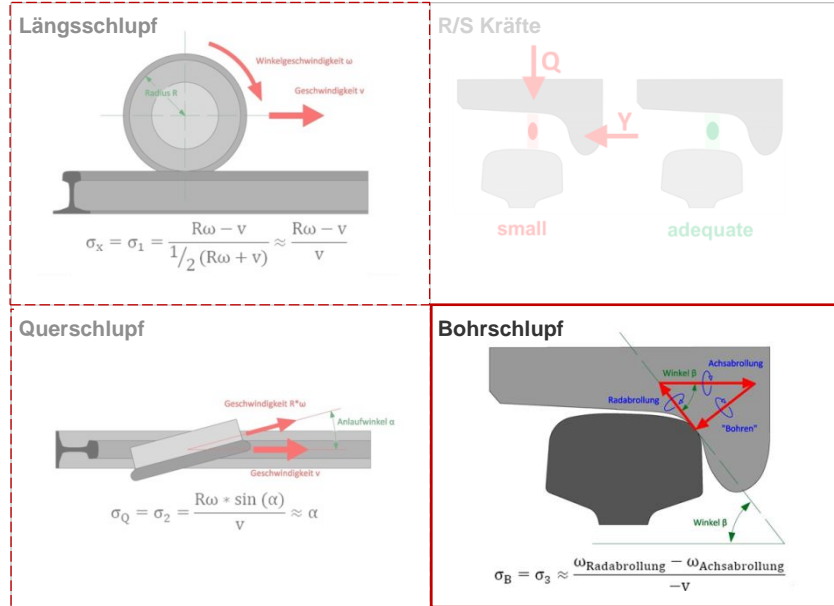
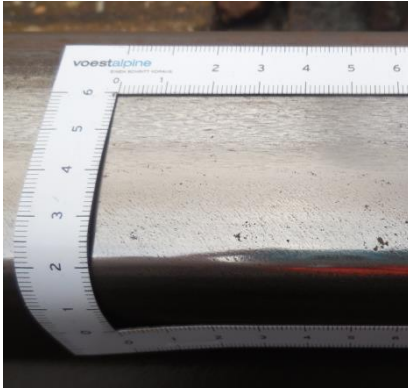
Schlupf (Reibkräfte) im Rad/Schiene Kontakt

➤ Querschlupf: **Kopflängsrisse**



Schlupf (Reibkräfte) im Rad/Schiene Kontakt

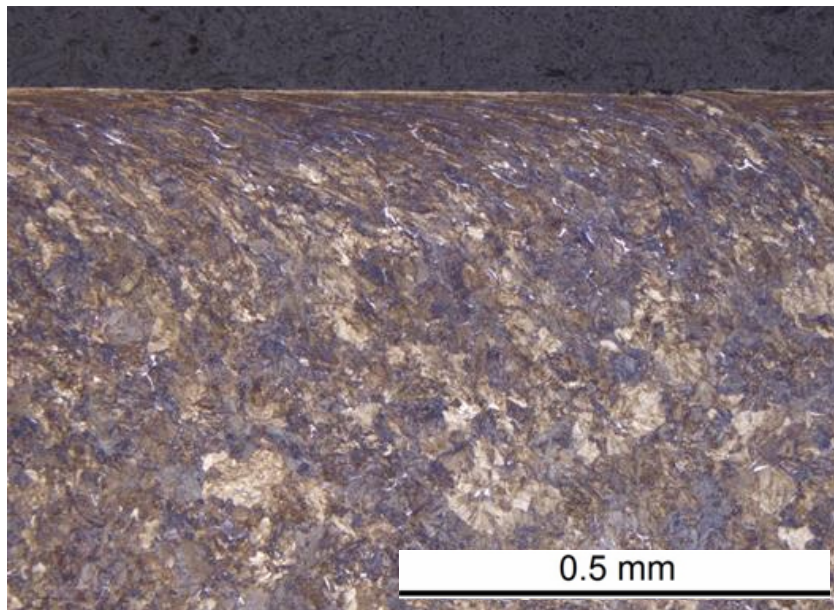
➤ Bohrschlupf: **Head Checks**



Die Widerstandsfähigkeit des Werkstoffs.

Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Schienen

- Hochverformung führt zum Einbruch der mechanischen Kennwerte und dient als Ausgangspunkt für Schienenschädigung.
- Der Schlüssel für ein verbessertes Werkstoff-Schädigungsverhalten im Gleis liegt in der Beeinflussung der hochverformten Schicht.

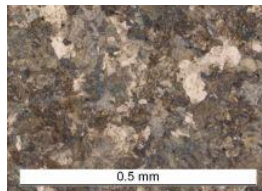


Gefügef়einerung / Wärmebehandlung

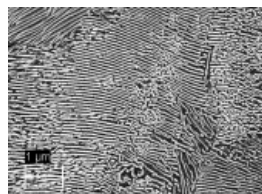
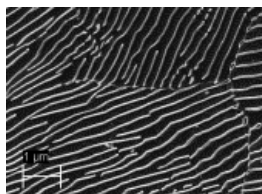
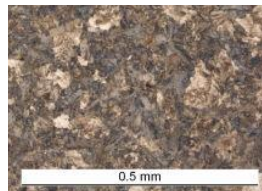
Gefügef়einerung bietet einen höheren Widerstand gegen Verformung.

- Festigkeitssteigerung existierender Werkstoffe.
- Die höhere Lamellendichte vermindert die Verscherung in Ausprägung und Tiefenwirkung.

R260



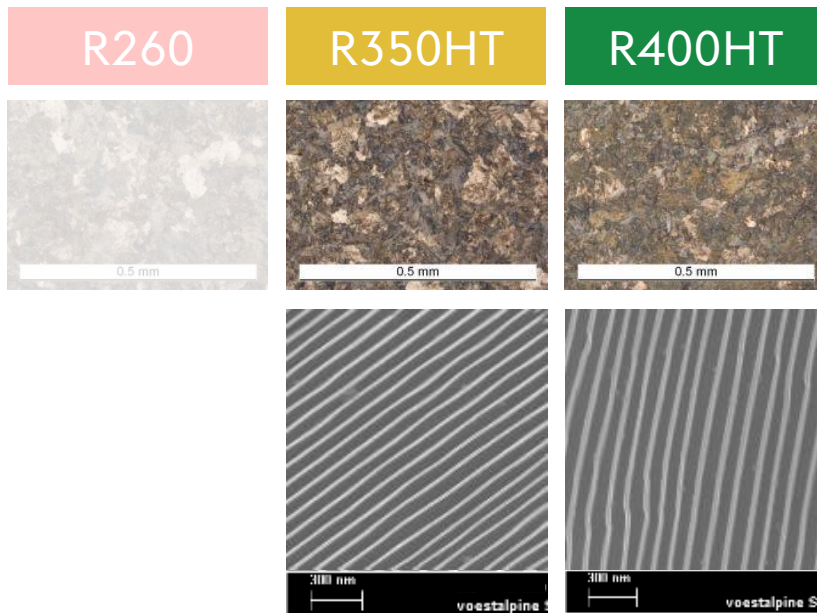
R350HT



Gefügestärkung / HE Konzept der R400HT

Gefügestärkung bietet einen zusätzlichen Widerstand gegen Verformung.

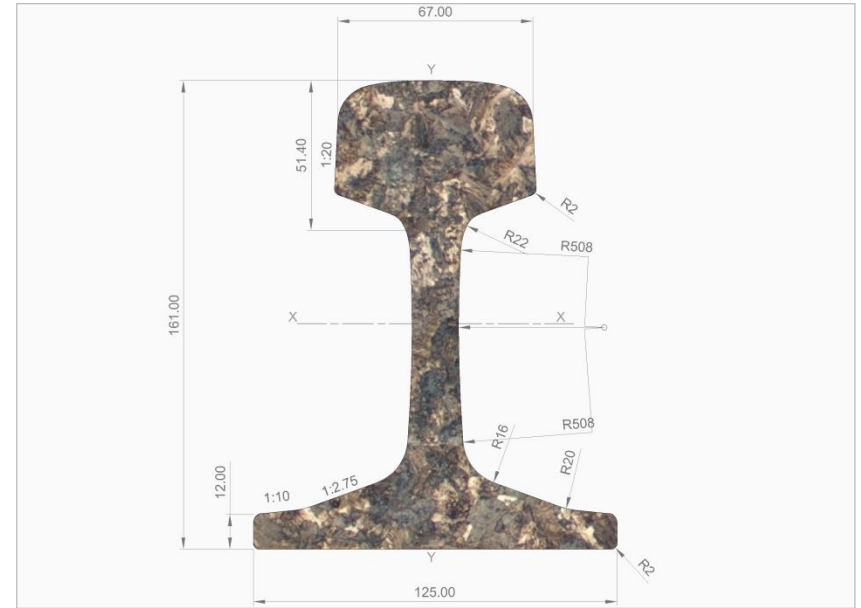
- Werkstoffdesign.
- Die gestärkten Zemetitlamellen im 100% perlitischen Gefüge behindern die Verscherung zusätzlich in Ausprägung und in Tiefenwirkung.



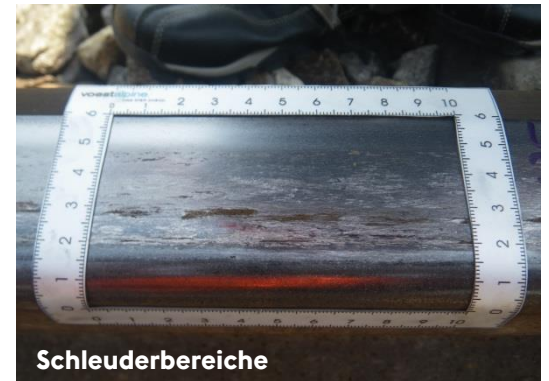
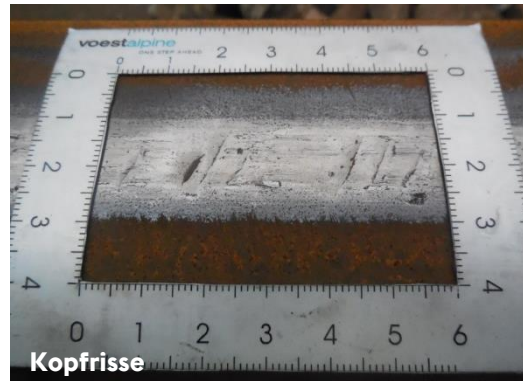
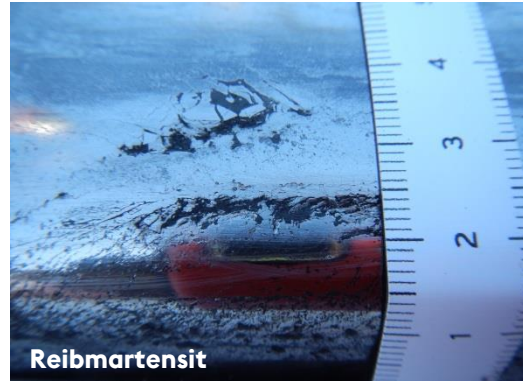
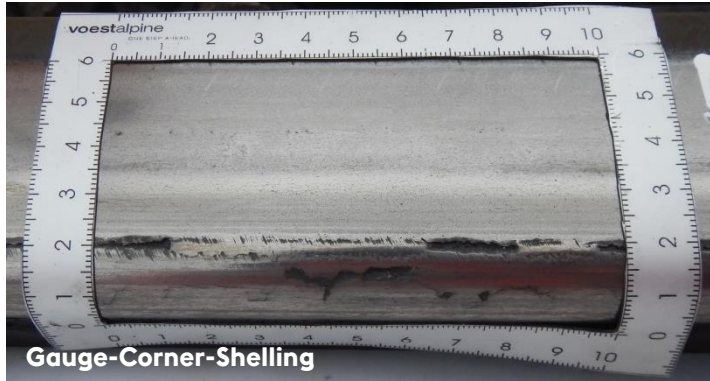
Schiene als System-Marker

Betriebsverhalten vs. Schadensfälle im Gleis

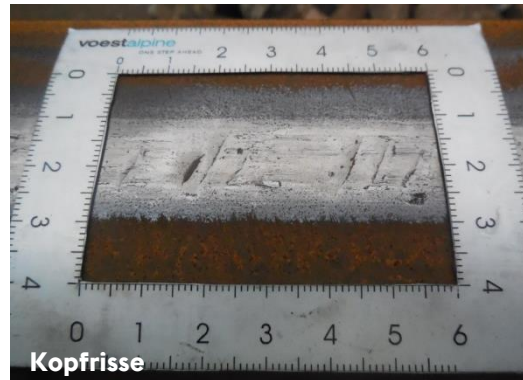
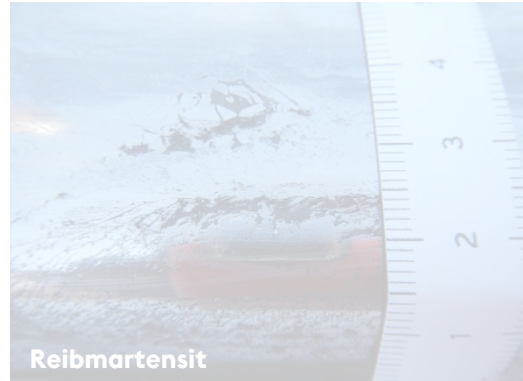
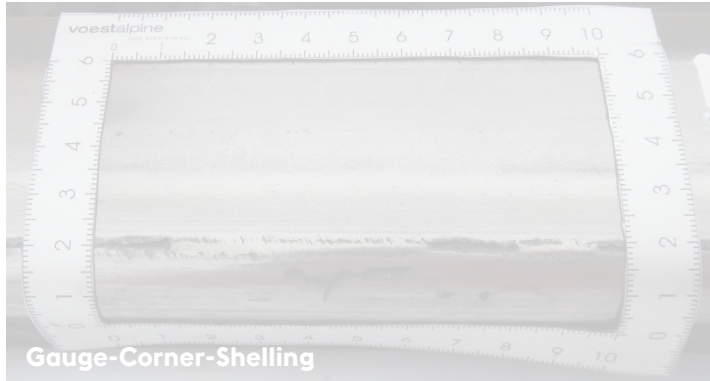
- Der Werkstoff reagiert auf typische und atypische, für den Betrieb benötigte und ungewollte Beanspruchungen im Rad/Schiene Kontakt.
- Unterscheidung zwischen Konsequenzen des Betriebs (Verschleiß, Schlupfwellen, RCF in Form von Head Checking, Kopfquer- und Längsrissen) und Schadensfälle notwendig.
- Die Schiene zeigt Probleme im System durch Schädigungen an.



Schadensfälle im Gleis



Schadensfälle im Gleis

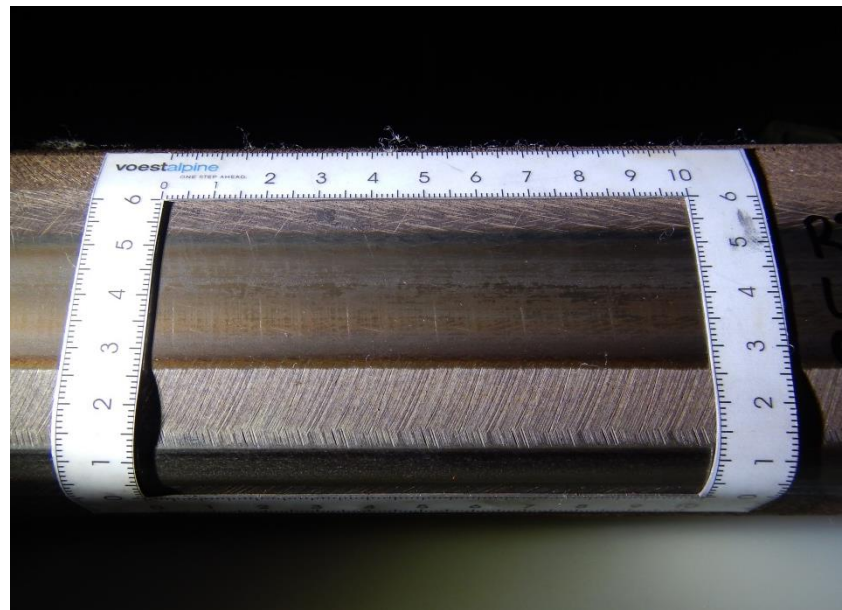


Schadensfälle im Gleis

Beispiel

Überbeanspruchung durch
Reibkräfte.

- Schlechte Berührgeometrie durch starkes Unterschleifen der Fahrkante (AHC Profile)

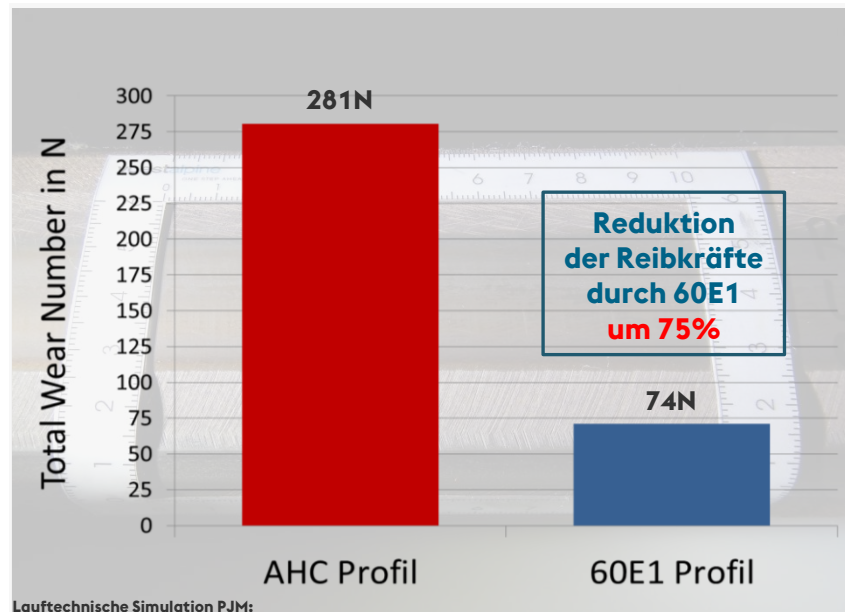


Schadensfälle im Gleis

Beispiel

Überbeanspruchung durch
Reibkräfte.

- Schlechte Berührgeometrie durch starkes Unterschleifen der Fahrkante (AHC Profile)
- **Erhöhter Energieeintrag im Fahrspiegel**



Lauftechnische Simulation PJM:

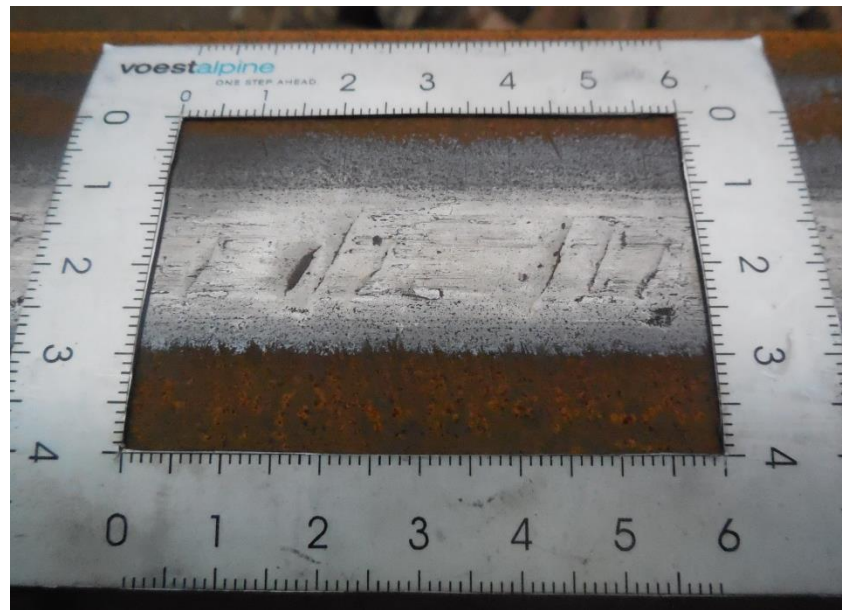
R=1.500m, D=100mm, V=160km/h, Bo'Bo', gemessenes AHC Profil und Nominalprofil 60E1.

Schadensfälle im Gleis

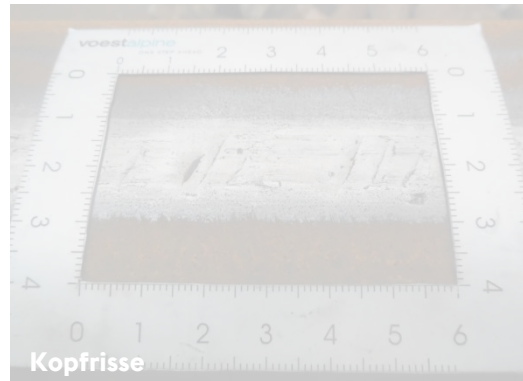
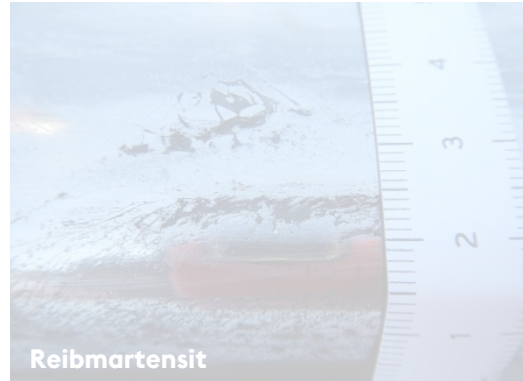
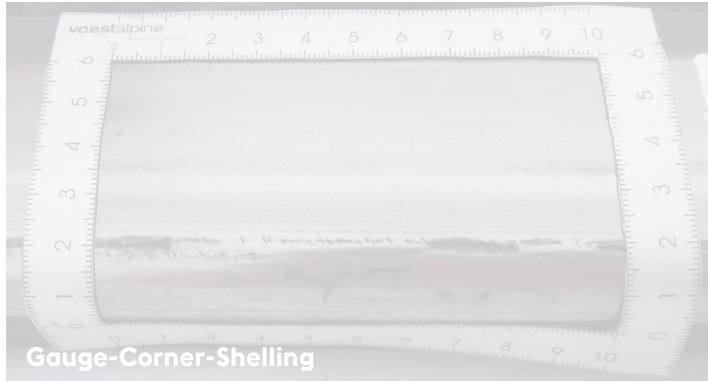
Beispiel

Überbeanspruchung durch
Reibkräfte.

- Schlechte Berührgeometrie durch starkes Unterschleifen der Fahrkante (AHC Profile)
- Erhöhter Energieeintrag im Fahrspiegel
- **Schwere Schädigungen im Bereich des Fahrspiegels**



Schadensfälle im Gleis



Schadensfälle im Gleis

Beispiel

Überbeanspruchung durch
konzentrierte Lasteinleitung.

- Schlechte Berührgeometrie durch Spurerweiterungsschleifen mit kleinen Kopfradien

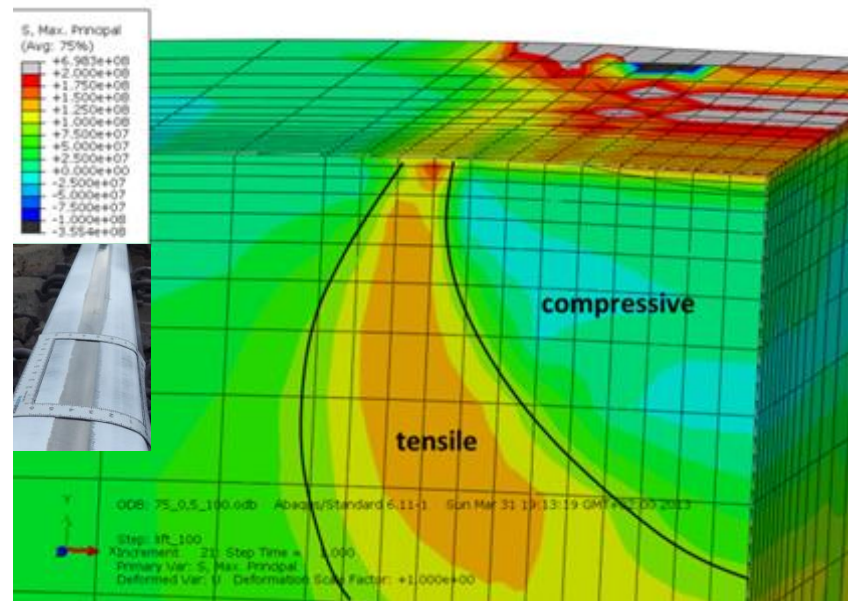


Schadensfälle im Gleis

Beispiel

Überbeanspruchung durch
konzentrierte Lasteinleitung.

- Schlechte Berührgeometrie durch Spurerweiterungsschleifen mit kleinen Kopfradien
- **Hohe Verformungsgradienten & hohe belastungsinduzierte Eigenspannungen**



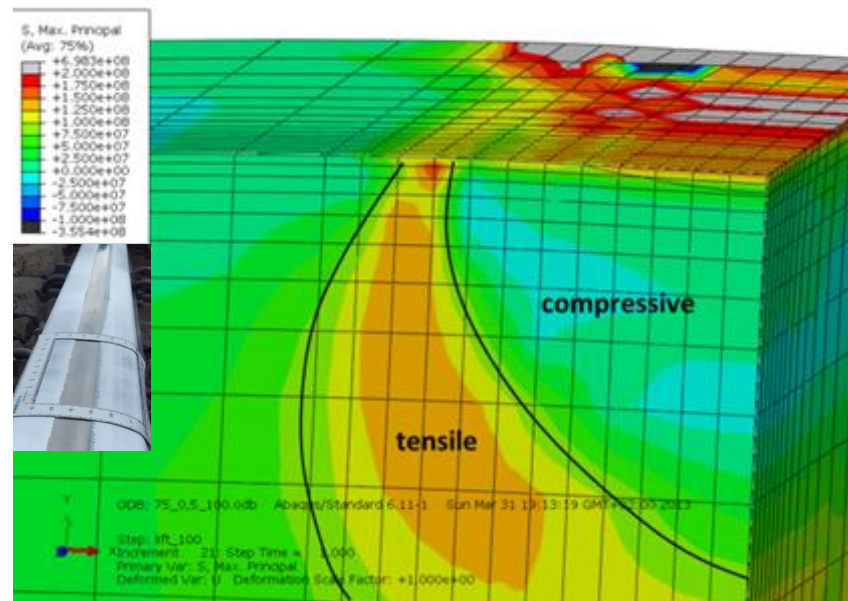
Numerische Simulation Materials Center Leoben MCL
3D Finite Element Modell ABAQUS, mehrfache Überrollung (100 Zyklen), Schienenwerkstoffparameter R260

Schadensfälle im Gleis

Beispiel

Überbeanspruchung durch
konzentrierte Lasteinleitung.

- Schlechte Berührgeometrie durch Spurerweiterungsschleifen mit kleinen Kopfradien
- **Squat Condition of Rail Materials**



Numerische Simulation Materials Center Leoben MCL
3D Finite Element Modell ABAQUS, mehrfache Überrollung (100 Zyklen), Schienenwerkstoffparameter R260

Schadensfälle im Gleis

Beispiel

Überbeanspruchung durch
konzentrierte Lasteinleitung.

- Schlechte Berührgeometrie durch Spurerweiterungsschleifen mit kleinen Kopfradien
- Squat Condition of Rail Materials
- **Nach Initialschädigung** (Reibmartensit, Schottereindrücke, Facettengrenzen)
Ausbildung von Squats



Der Beitrag von Schienen zur Optimierung des Gesamtsystems Fahrweg.

Der Beitrag von Schienen zur Optimierung des Gesamtsystems Fahrweg

- Einstellung guter berührgeometrischer Bedingungen.
- Aufrechterhaltung guter berührgeometrischer Bedingungen.
- Bekämpfung der Schädigungs-Mechanismen im Gleis durch den Werkstoffwiderstand.

