

# 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

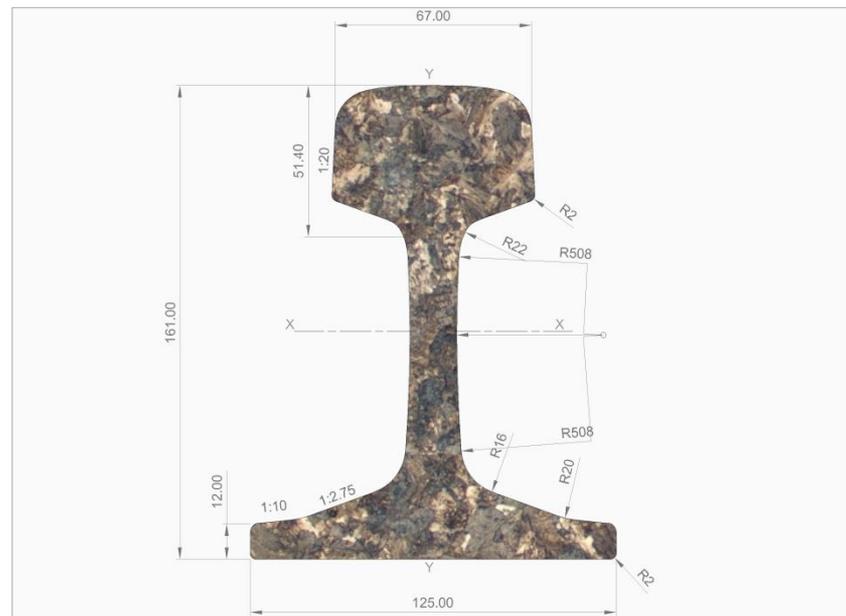
#### **Geometrie** und Abmessungen

- 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.

---

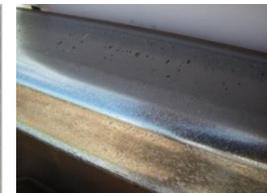
# Betriebsverhalten: Verschleiß

- 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

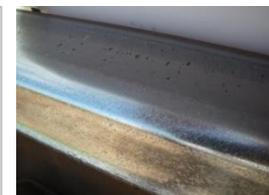
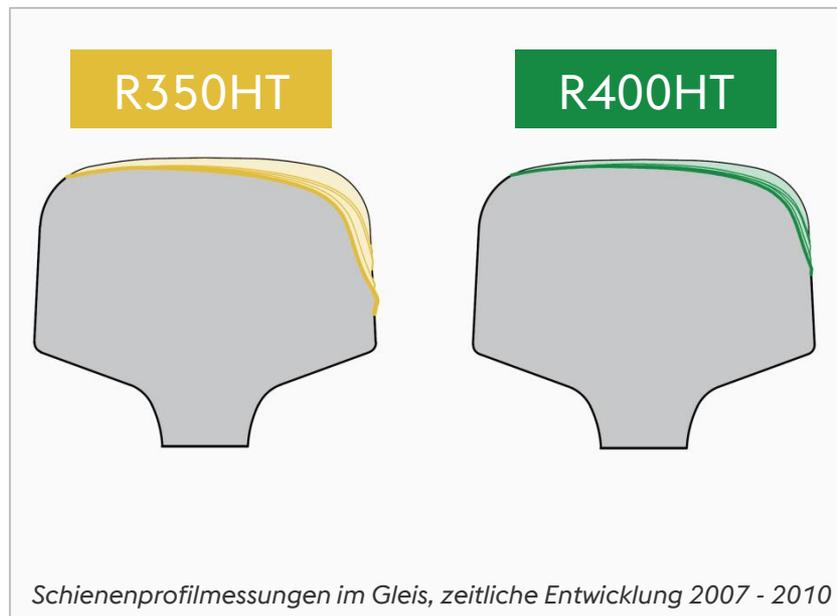
- Natürliche Entwicklung dominant im Bogen

## 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

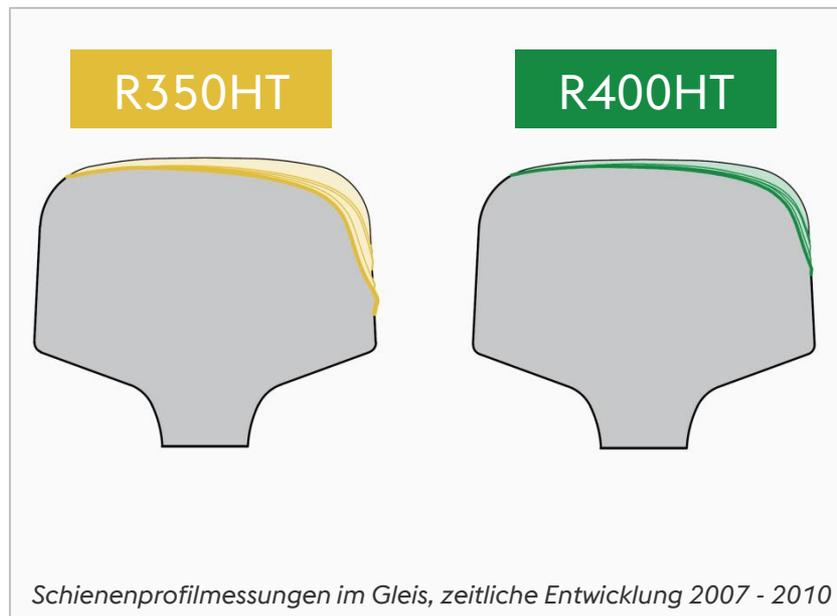
- Wirksame Bekämpfung durch hochfeste Schienenstähle



# Der Beitrag moderner Werkstoffe: **Verschleiß**

## Kräftearmer Bogenlauf

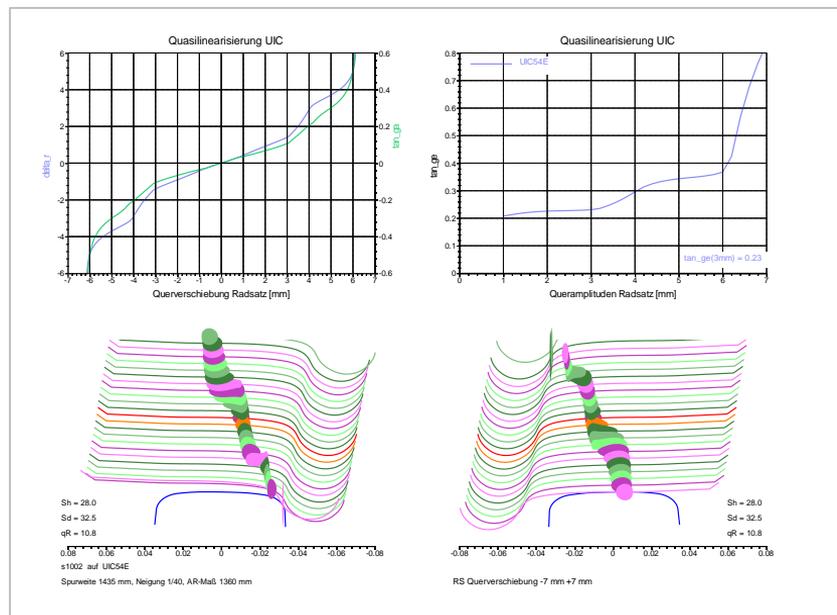
- Hochfeste Werkstoffe bieten **Profilstabilität**.
- Niedrige Bogenlaufkräfte & gute Berührgeometrie



# Der Beitrag moderner Werkstoffe: **Verschleiß**

## Kräftearmer Bogenlauf

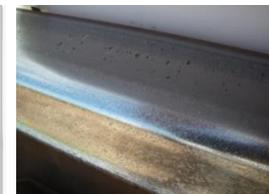
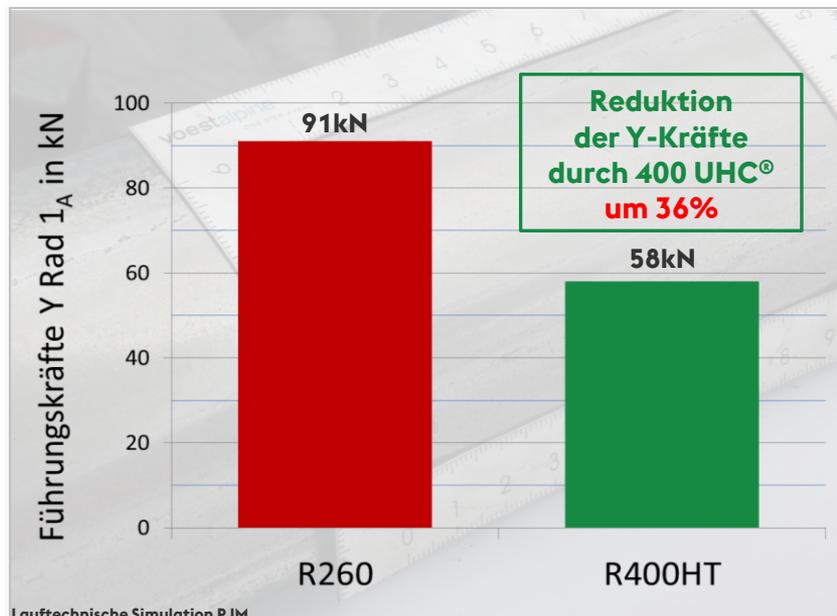
- Hochfeste Werkstoffe bieten Profilstabilität.
- Niedrige Bogenlaufkräfte & **gute Berührgeometrie**



# 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



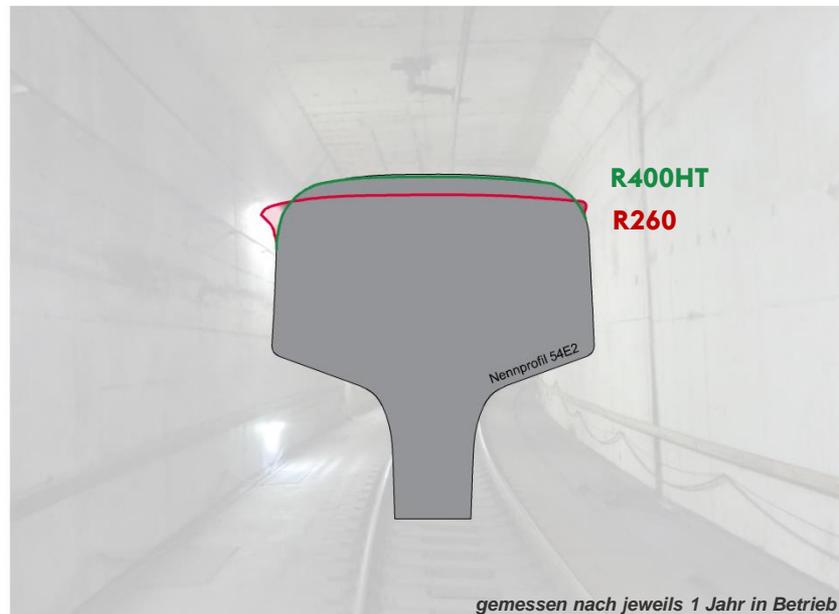
# Betriebsverhalten: **plastische Verformung**

- 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

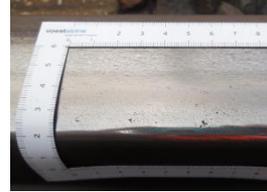


# Betriebsverhalten: Rollkontaktermüdung (RCF)

- Natürliche Entwicklung im mittleren/weiten Bogen

## Materialermüdung

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

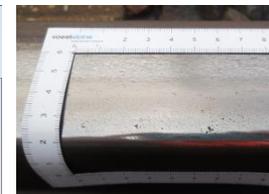


# Betriebsverhalten: Rollkontaktermüdung (RCF)

- Natürliche Entwicklung im mittleren/weiten Bogen

## Materialermüdung

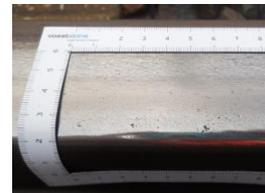
- Rissbildung an der Fahrkante
  - Gefahr von Trümmerbrüchen
  - Entfernung der Risse durch Schienenbearbeitung im Gleis notwendig
- Wirksame Bekämpfung durch hochfeste Schienenstähle



# 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**

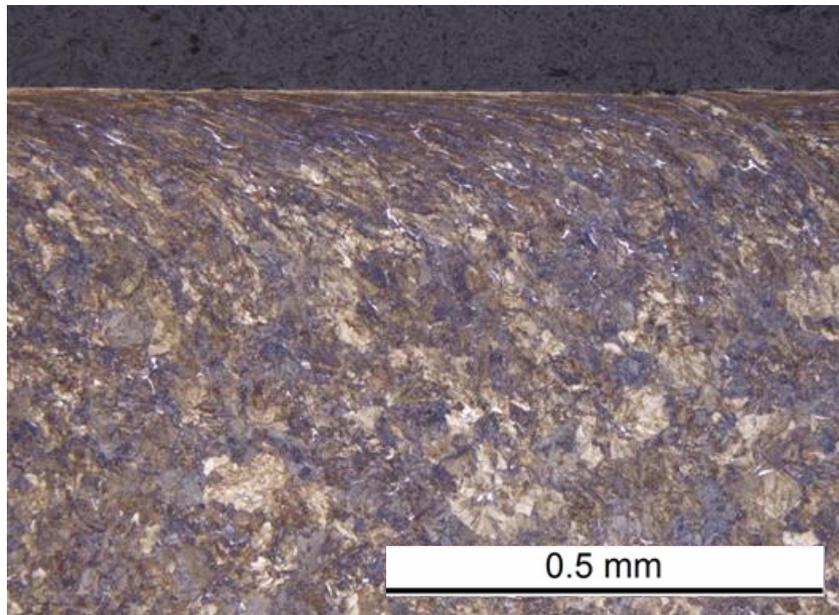


# Die Reaktion der Schienenstähle auf R/S Kräfte.

---

# 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.

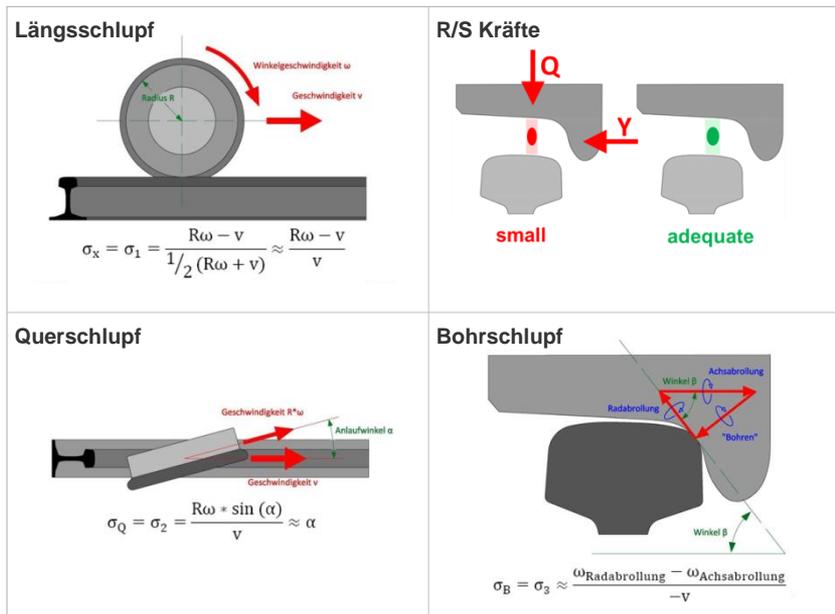


# Schlupf (Reibkräfte) im Rad/Schiene Kontakt

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

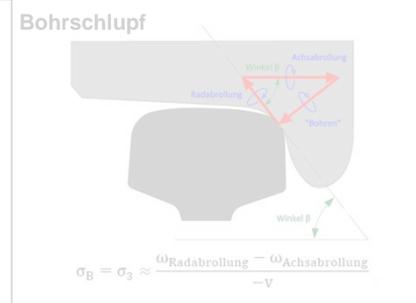
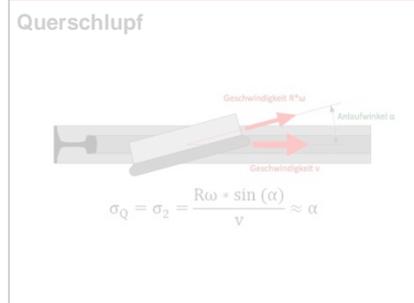
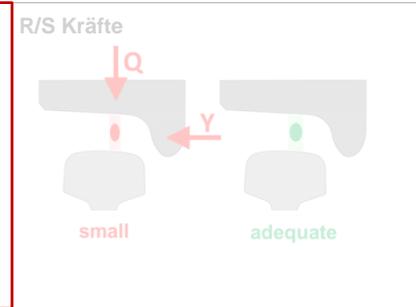
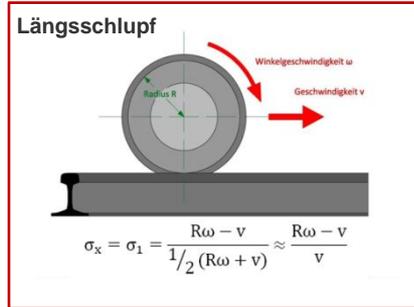
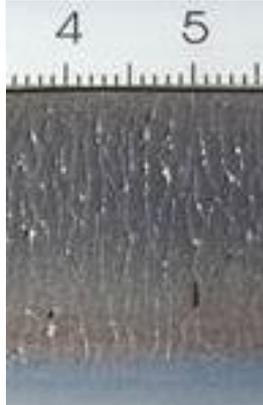
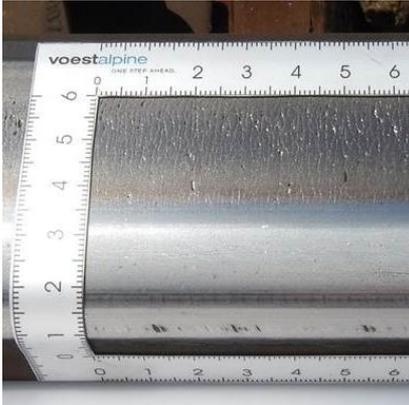
- *Längsschlupf*
- *Querschlupf*
- *Bohrschlupf*

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



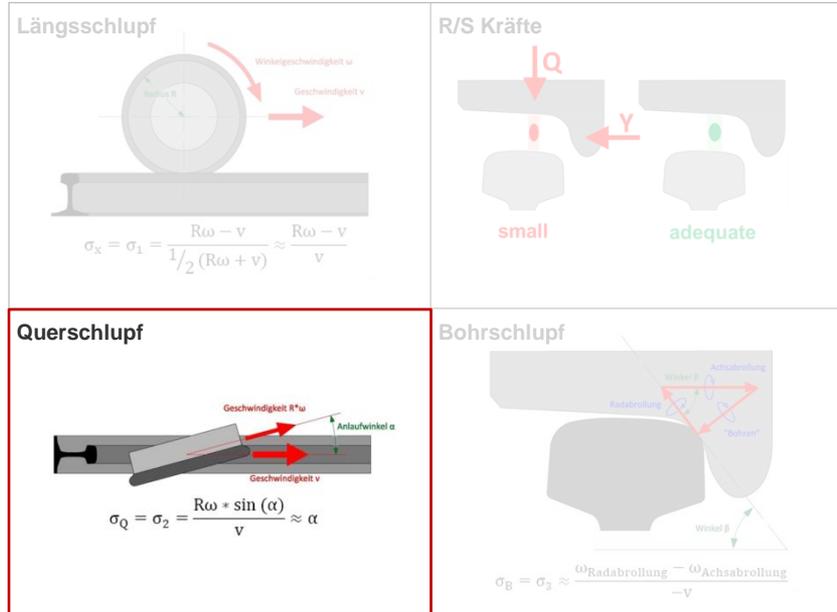
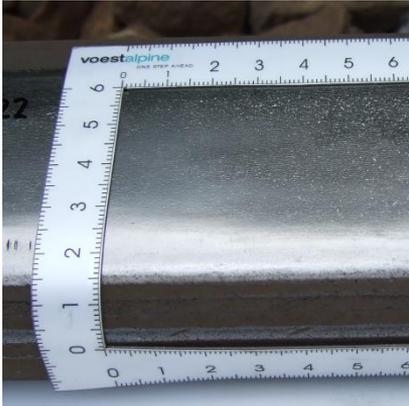
# Schlupf (Reibkräfte) im Rad/Schiene Kontakt

## ➤ Längsschlupf: Traktionsrisse



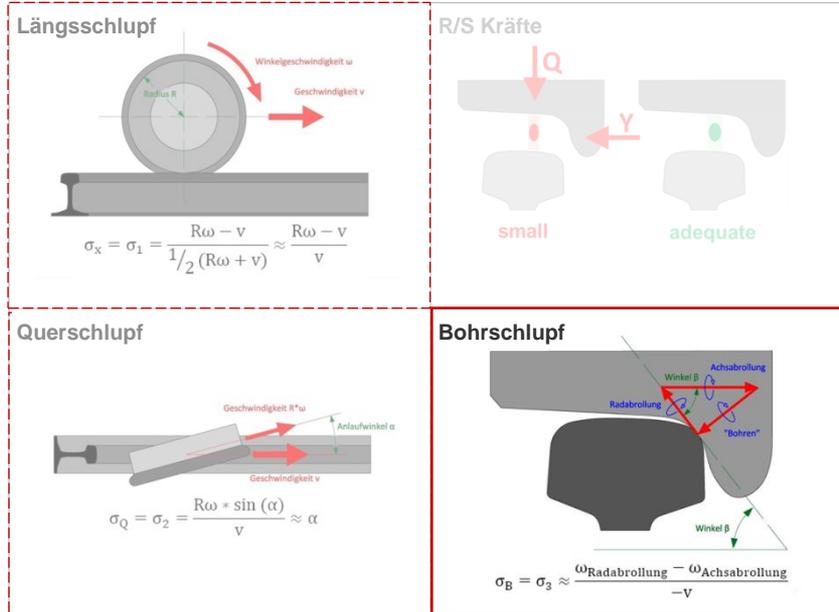
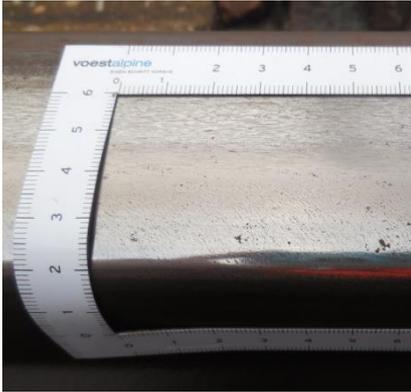
# Schlupf (Reibkräfte) im Rad/Schiene Kontakt

## ➤ Querschlupf: **Kopflängsrisse**



# Schlupf (Reibkräfte) im Rad/Schiene Kontakt

## ➤ Bohrschlupf: **Head Checks**

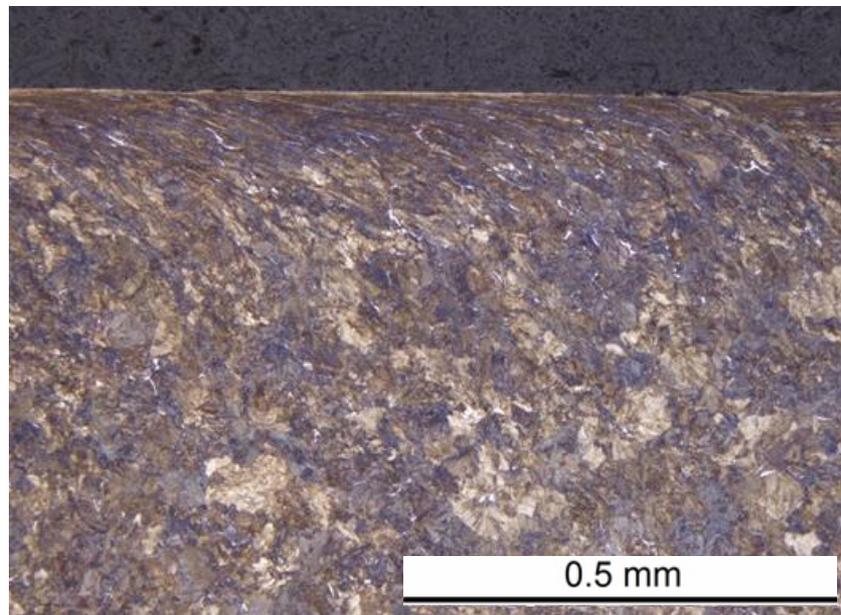


# Die Widerstandsfähigkeit des Werkstoffs.

---

# 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.



# Gefügefeynung / Wärmebehandlung

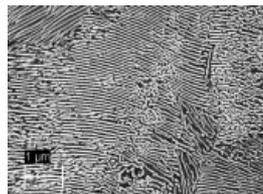
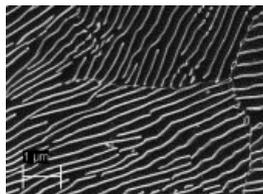
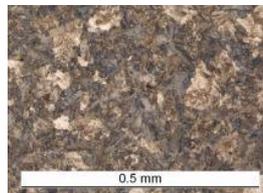
Gefügefeynung bietet einen höheren Widerstand gegen Verformung.

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

R260



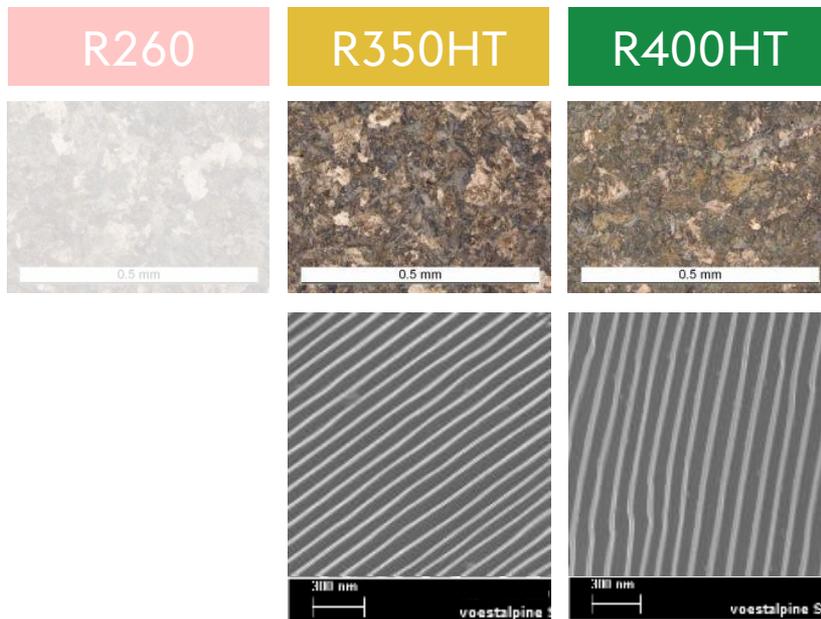
R350HT



# 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.

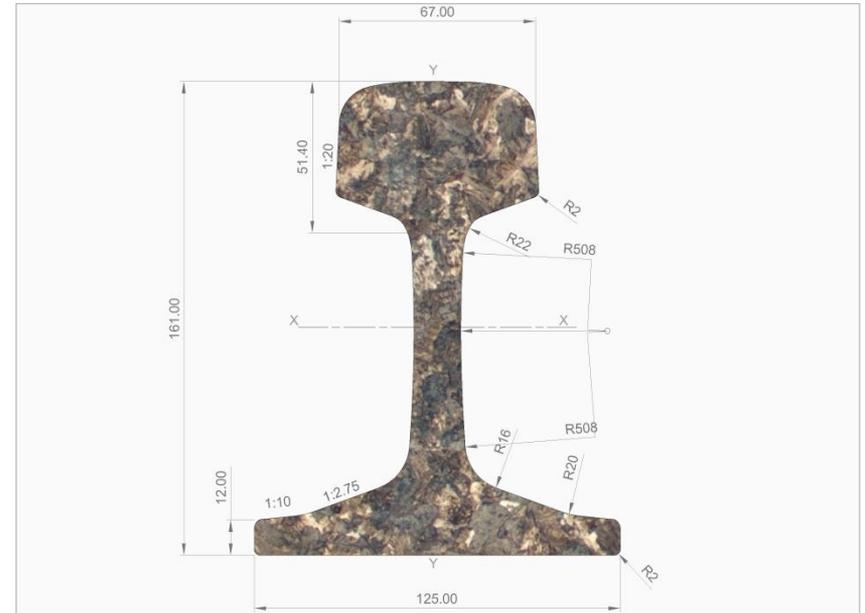


# Schiene als System-Marker

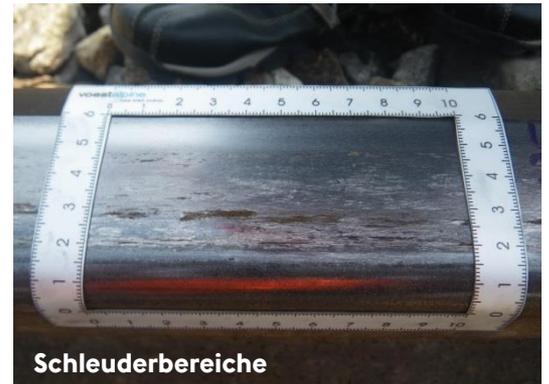
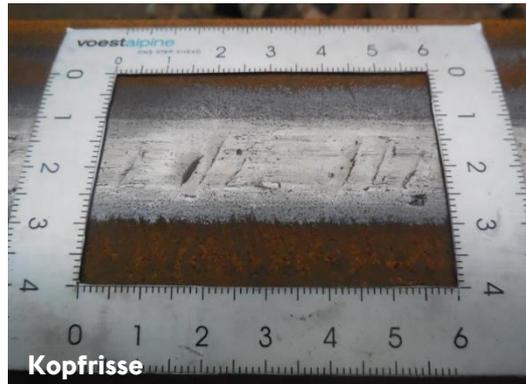
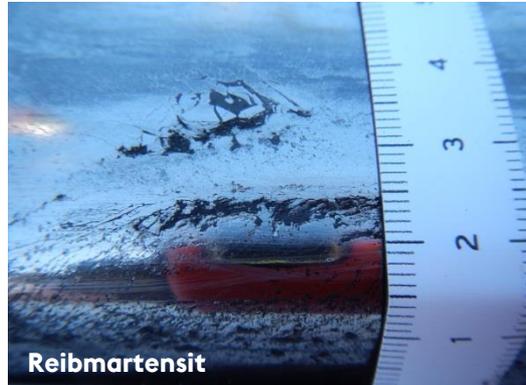
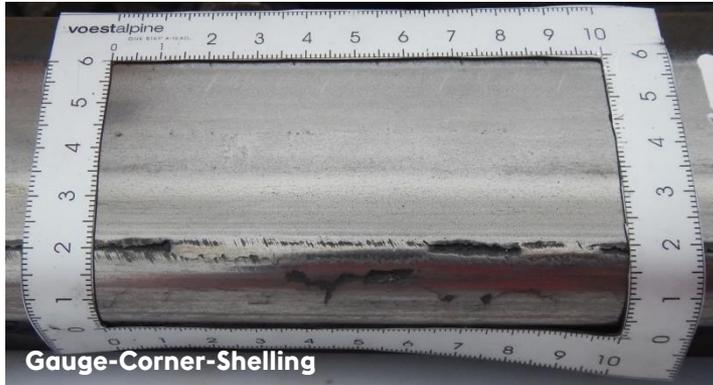
---

# 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.

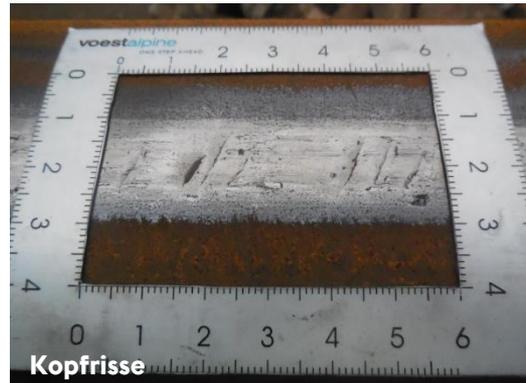
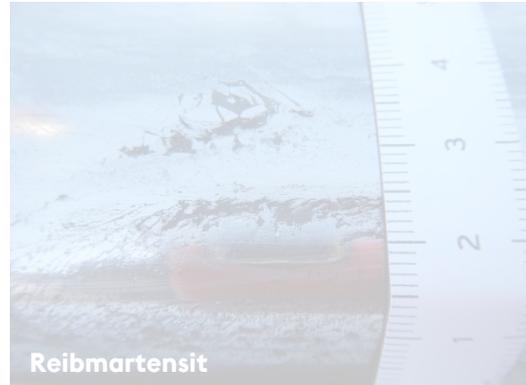


# Schadensfälle im Gleis



# Schadensfälle im Gleis

---

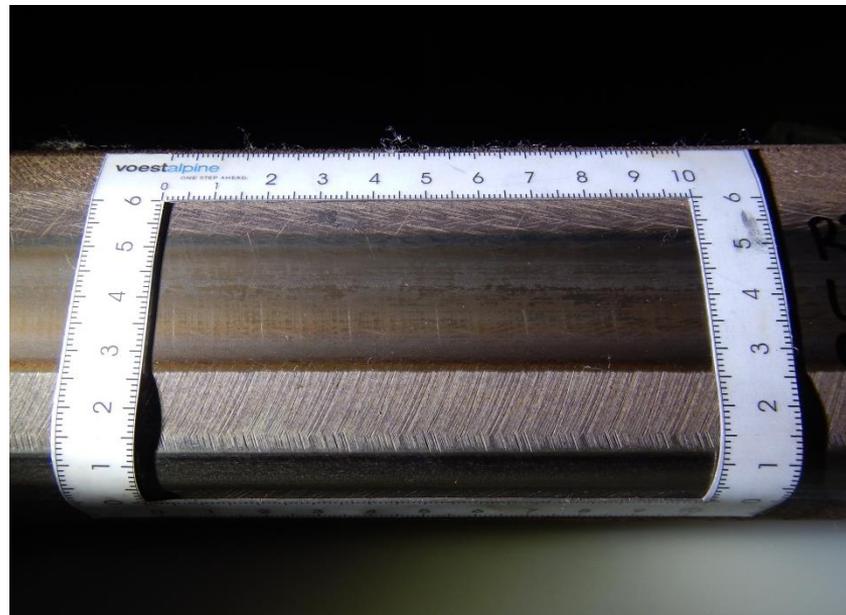


# Schadensfälle im Gleis

## Beispiel

Überbeanspruchung durch  
**Reibkräfte.**

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

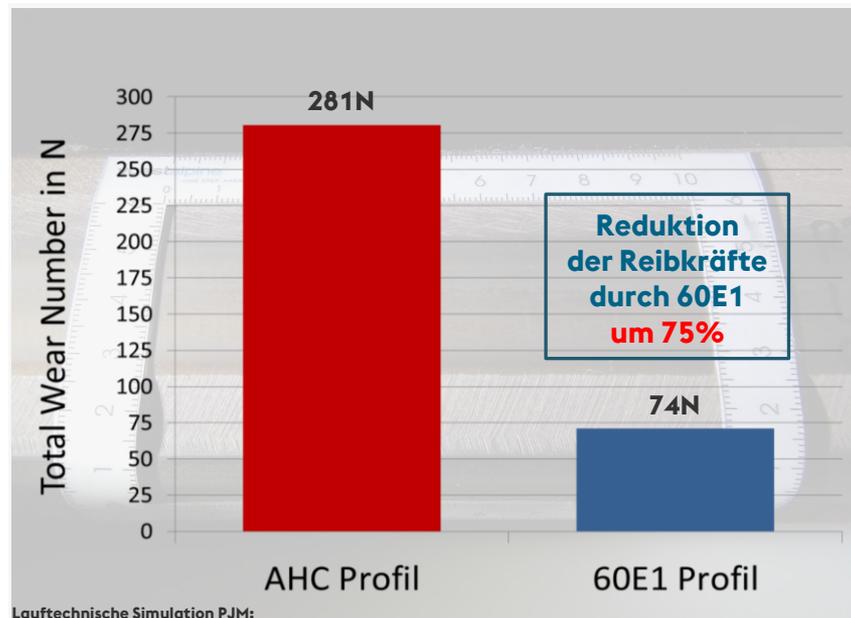


# Schadensfälle im Gleis

## Beispiel

Überbeanspruchung durch  
**Reibkräfte.**

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



Lauftechnische Simulation PJM:

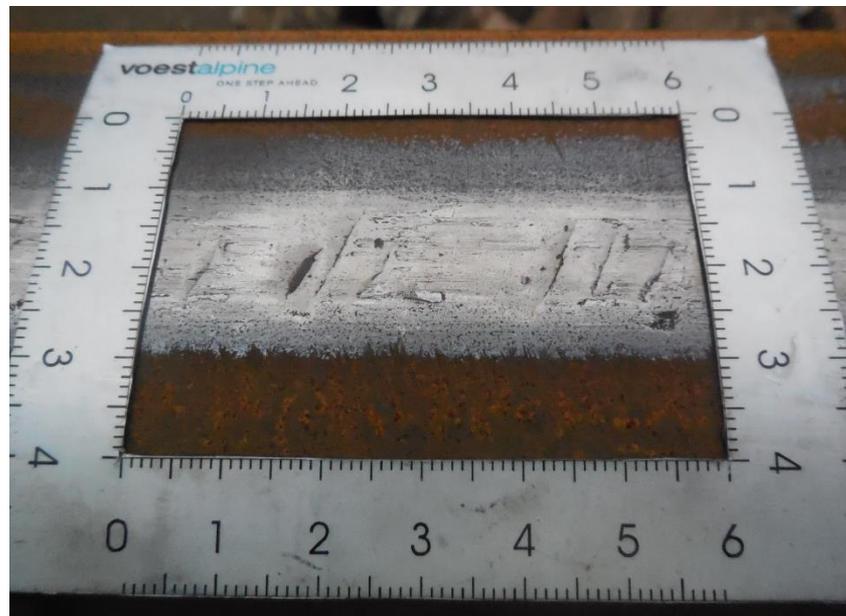
R=1.500m, D=100mm, V=160km/h, Bo'Bo', gemessenes AHC Profil und Nominalprofil 60E1.

# Schadensfälle im Gleis

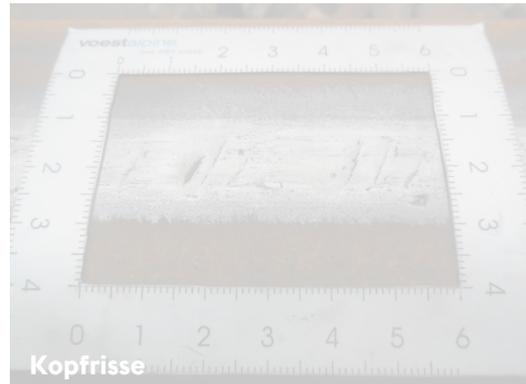
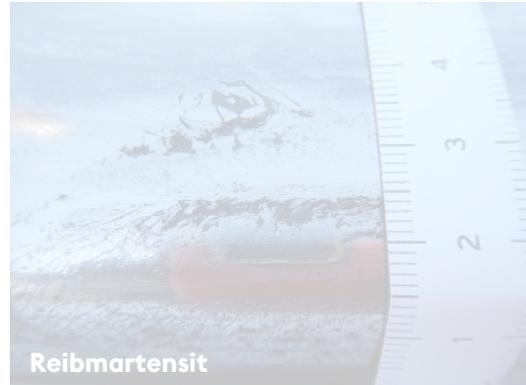
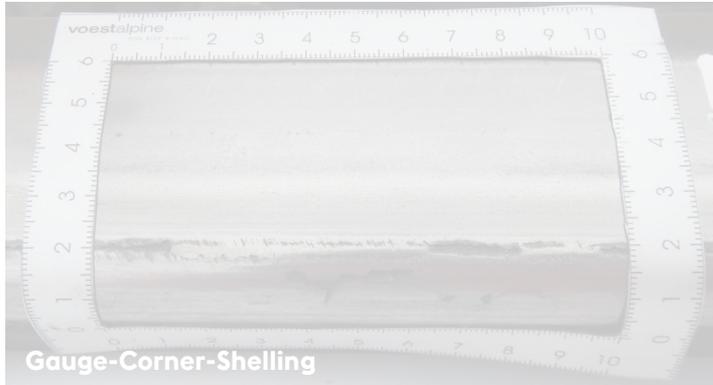
## Beispiel

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

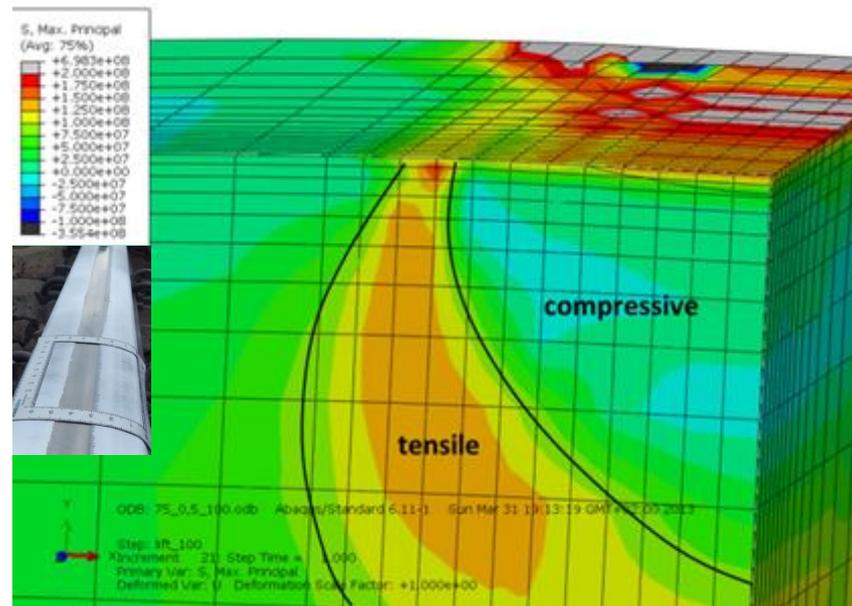


# Schadensfälle im Gleis

## Beispiel

Überbeanspruchung durch  
**konzentrierte Lasteinleitung.**

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



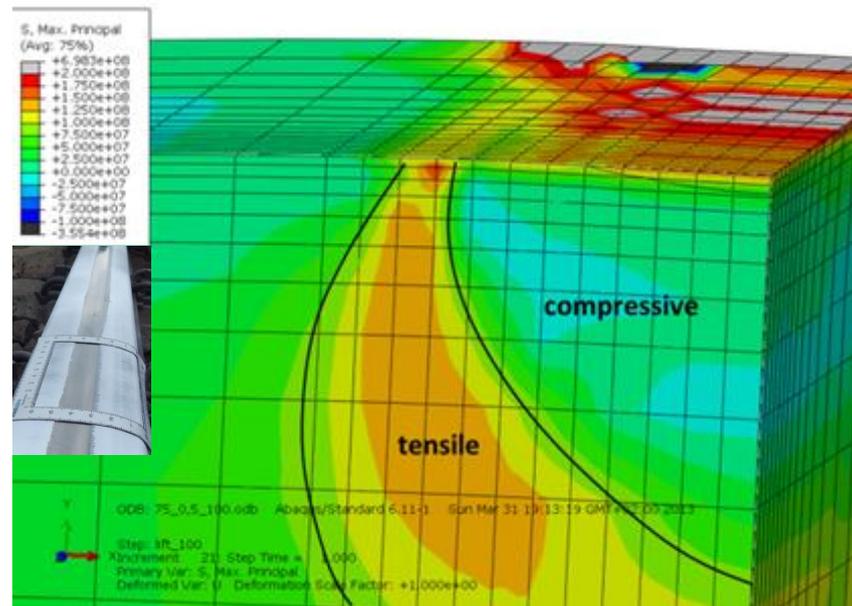
Numerische Simulation Materials Center Leoben MCL  
3D Finite Element Modell ABAQUS, mehrfache Überrollung (100 Zyklen), Schienenwerkstoffparameter R260

# 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.

