HIGH CAPACITY I PRECISION I RELIABILITY

Plasser & Theurer

Squats, Studs und ähnliche Defekte – ein Überblick

Dr. Richard Stock

ÖVG Squat Seminar | 13. September 2021

Agenda

Plasser & Theurer

Plasser American

1 Squats

2 Studs und ähnliche Defekte

3 Faktoren zur Stud Bildung

4 Aktuelle Aktivitäten

5 Zusammenfassung

Was Gnome mit Squats zu tun haben

Plasser & Theurer

Plasser American

Kuriose Namensgebung

- Verb: to squat
- Definition: sich mit gebogenen Knien hinhocken / hinsetzten und mit dem Hinterteil einen Abdruck hinterlassen
- Namensgebung durch Angestellten von British Railway
  - As if a Gnome was squatting on the rail and left a mark
- „Referenz“ zur Gnom Theorie
  - Malerei von Carl Spitzweg, ca. 1848
  - “Gnome watching railway train”

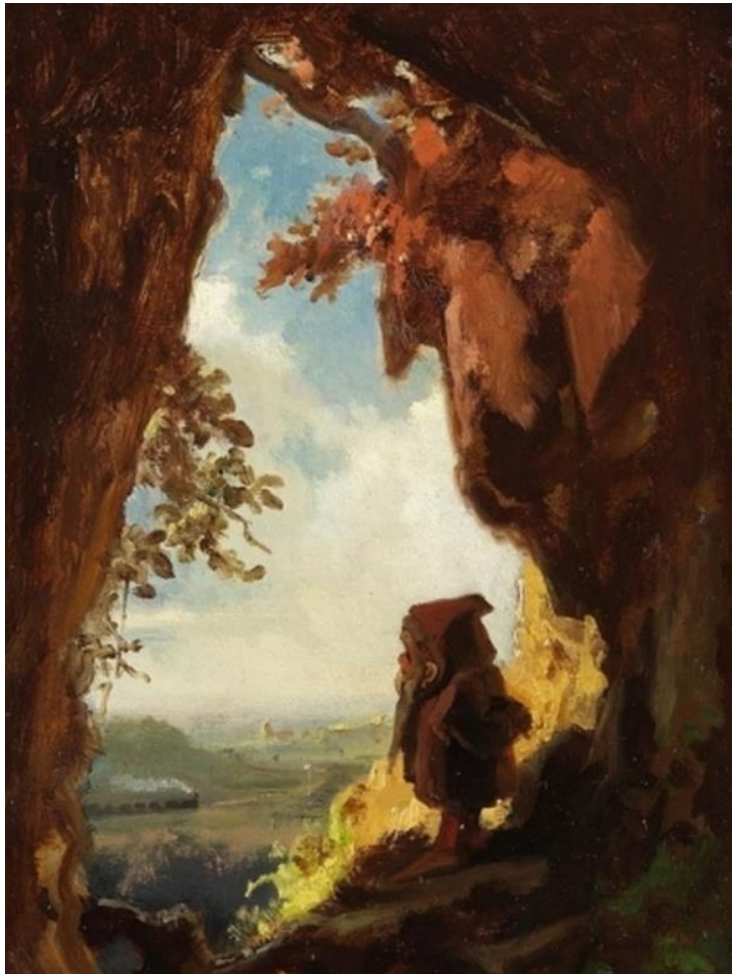


Bild von Carl Spitzweg, 1848, zugeschnitten, Public Domain

Squat Defekt

Plasser & Theurer

Plasser American

Eigenschaften

- Erweiterung der Fahrfläche
- Nierenform
- Riss(e) an der Oberfläche
- Schalenförmiges Risswachstum unter der Oberfläche
- Keine eindeutige Periodizität
- Einzelne Ausbildung oder gehäuftes Auftreten
- In frühem Stadium schwierig automatisiert zu detektieren

Foto: voestalpine Schienen GmbH

Geschichtlicher Rückblick

Plasser & Theurer
Plasser American

Ein bekannter Defekt

- In Japan seit den 1950er auf den Shinkansen Strecken Jahren beobachtet
  - Benennung: Dark Spots / Shelling Defects
- In Frankreich und UK seit den späten 1970er Jahren
- Massive „Renaissance“ in Europa und Australien seit den späten 1990er Jahren

Foto: Wikipedia, CC BY-SA 4.0, © Alpsdake

Foto: Wikipedia, CC BY 2.0, © joost j. bakker

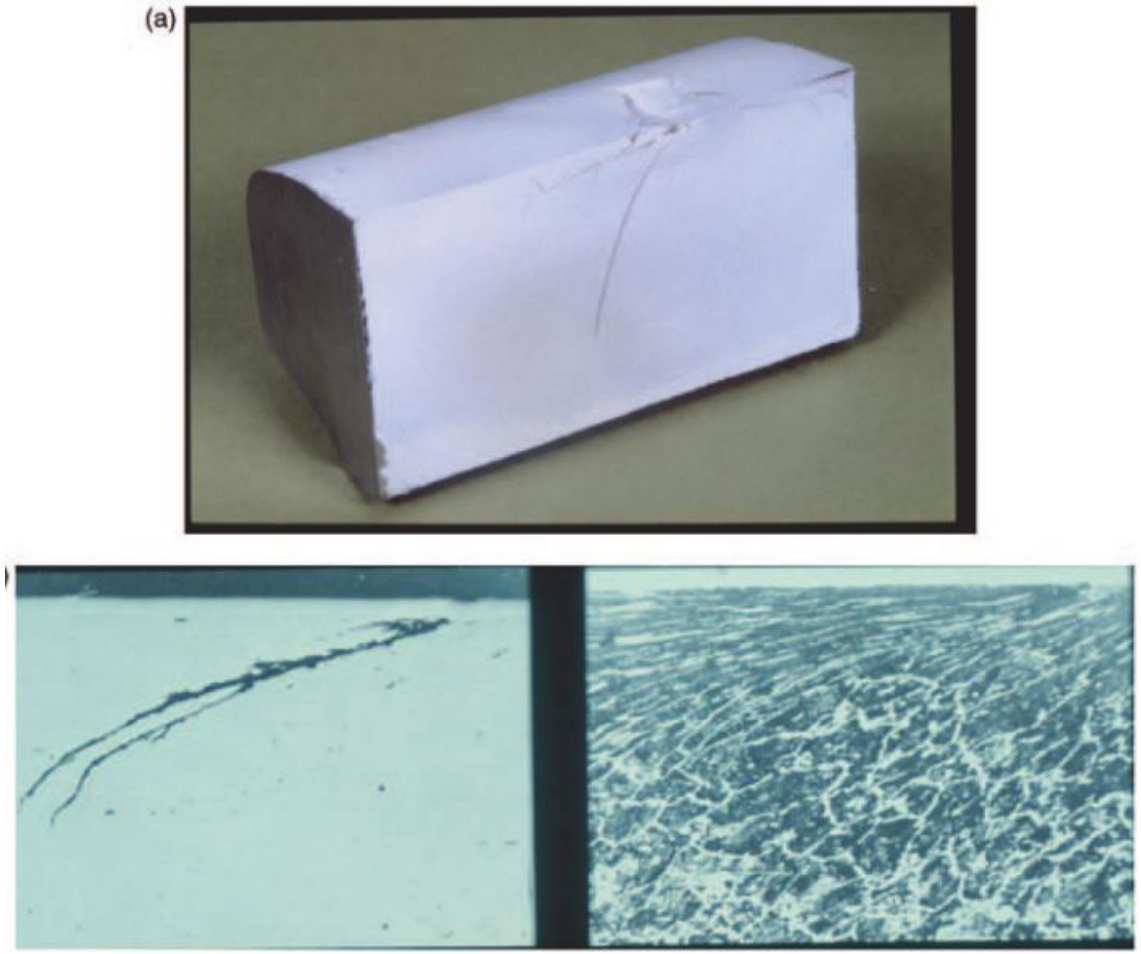
Squat Defekte

Plasser & Theurer

Plasser American

Charakterisierung

- Stark verformte Materialstruktur an Oberfläche (Traktion)
- Rissbildung und Wachstum durch Ratchetting (RCF)
- Initiierung nach geringer zweistelliger MGT Belastung
- Langsames Wachstum (innerhalb von 100+ MGT) zu voller Ausbildung
- Gerade Stecken und weite Bögen
- Kann zu Schienenbruch führen



Fotos von: S.L. Grassie: Squats and squat-type defects in rails: the understanding to date. In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2012, Volume 226, Issue 3, 235 – 242; Original: British Rail Research, CO Frederick

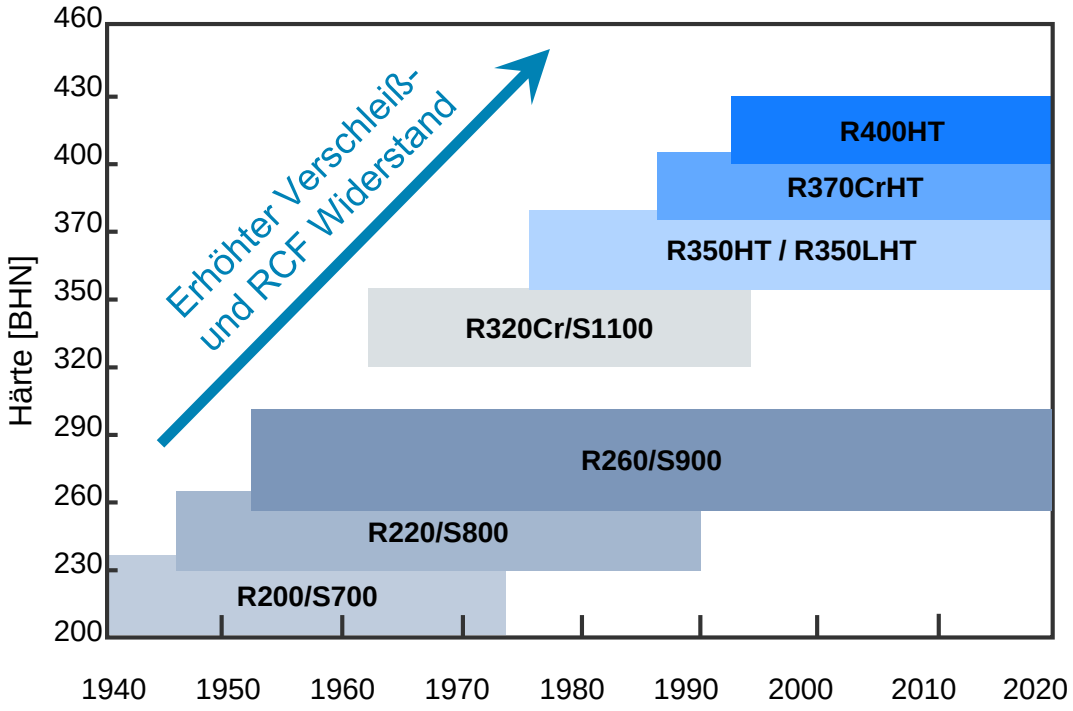
Materialentwicklung

Plasser & Theurer

Plasser American

Verbesserte Schienenstähle

- Schienenmaterialentwicklung (1970-heute)
  - R200 – R260 – R350HT – R400HT
  - Perlitische Schienenstähle
- R200 → R260
  - Erhöhter C-Gehalt
  - Verbesserte Stahlerzeugung
  - Erhöhter Verschleiß und RCF Widerstand
- R260 → R350HT → R400HT
  - Wärmebehandlung
  - Erhöhter Verschleiß und RCF Widerstand



Einfluss auf Squatentwicklung

Plasser & Theurer
Plasser American

Die Lösung des Problems?

- Schienengüten mit verbessertem Verschleiß- und RCF-Widerstand
  - Squat: Stark plastisch verformte Materialstruktur
  - Weniger plastische Verformung und Verschleiß
  - Squat: Rissbildung und Wachstum durch Ratchetting (RCF)
  - Kein / geringes Ratchetting bei gleichen Belastungsbedingungen
  - Squat: Initiierung und langsames Wachstum
  - Keine oder verzögerte Rissbildung
- Präventiv-zyklische Instandhaltung
- **Squats mit Einführung von neuen Schienengüten und Instandhaltungsstrategien deutlich reduziert (1980er Jahre)**

Squat Renaissance

Plasser & Theurer

Plasser American

Das Imperium schlägt zurück / Rückkehr eines Defekts

- Ab Mitte 1990 Berichte über verstärktes Squat Auftreten (Europa, Australien)
- Massive gehäuftes Auftreten (Epidemie)
- Auftreten „aus dem Nichts“
  - „Alte“ Schiene sowie neu installierte Schienen
- Massive Ausbrüche der Fahrfläche möglich
- Auf allen Schienengüten beobachtet – anscheinende Häufung auf wärmebehandelten Güten

Foto: Rene Heyder, DB

Der neue Squat

Plasser & Theurer

Plasser American

Squatartige Defekte / Squat type defects / STUDS

- Hohe visuelle Ähnlichkeit zu Squats
- Massiv gehäuftes Auftreten
- Charakteristika
  - Geringe plastische Verformung
  - Einflussfaktor Traktion
  - Interaktion mit weißen Schichten (WEL)
  - Bildung innerhalb von 10 MGT oder weniger
  - Geringer Schienenverschleiß
  - Keine Schienenbrüche berichtet
- Präventive Schleifstrategien scheinen nur geringen Einfluss zu haben

Fotos: voestalpine

Ein neuer Defekt – ein neuer Name (?)

Plasser & Theurer

Plasser American

Wege der Namensfindung

- Klare Unterschiede zu „originalem“ Squat Defekt – neue Name nötig?
- Großteil der aktuellen Squats: „neue“ Squats
- Begriff Squat weit verbreitet (visuelle Ähnlichkeit)
- Squat Type Defects / Squatartige Defekte
- STUD – STUarts Defect
  - Wesentlicher Forschungs-Beitrag von Stuart Grassie
  - Unterscheidung von Stuart erforscht
  - „Stud“ Name immer noch umstritten
- Stud wird in dieser Präsentation verwenden zur Unterscheidung

Fotos: Final Report on the Rail Squat Project R3-105, CRC Australia

Stud Faktoren

Plasser & Theurer

Plasser American

Schienengüte

- Ursachenforschung: Veränderungen in den letzten Jahren
- Erste Vermutung: Ursache in Wärmebehandelten Schienen?
  - Beobachtung: keine Probleme auf R260 vs. Probleme auf R350HT (z.B. Banedanmark)
  - Aber: Studs auch auf R260 / R260Mn in Frankreich und Holland
- Vorteil von hochfesten Schienen:
  - Verbesserter Verschleiß <u>UND</u> RCF Wiederstand

Stud Faktoren

Plasser & Theurer

Plasser American

Schädigungsverhalten

- Stud Wachstum: kein Ratchetting Mechanismus (Zeitfaktor)
- RCF resistente Güten
  - Höherer Widerstand gegen Ratchetting
  - Vorteil für Studs bedingt von Nutzen
- Studs: In Bereichen mit geringem Schienenverschleiß
- Verschleißresistente Güten – gegebenes Profil bleibt länger stabil
  - Im Positiven wie im Negativen

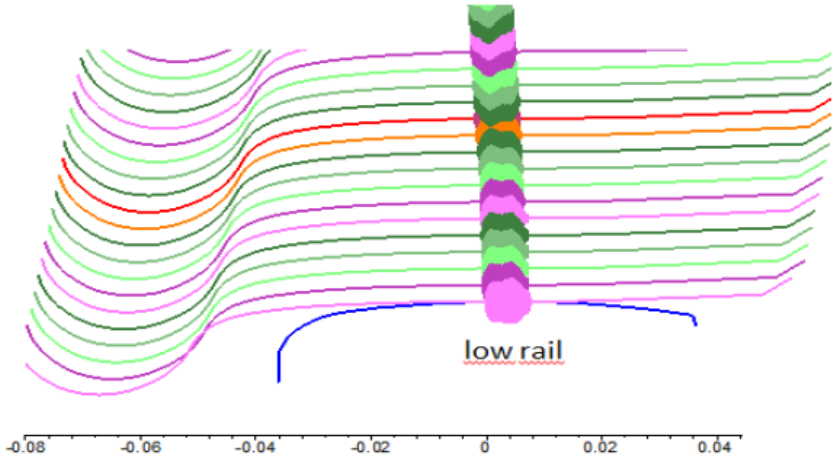
Stud Faktoren

Plasser & Theurer

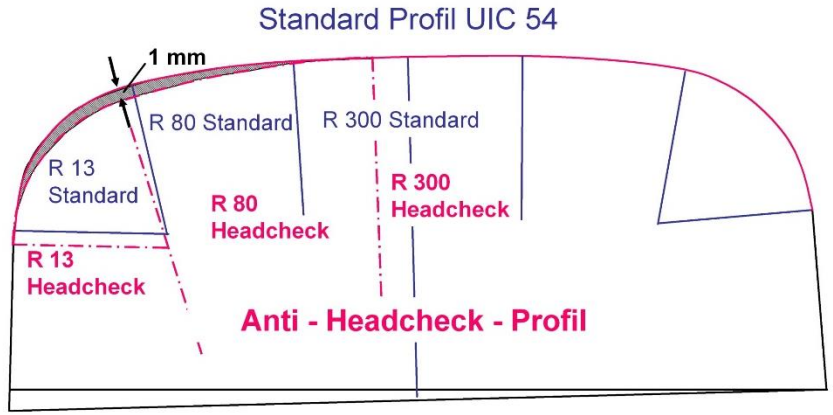
Plasser American

Kontaktbedingungen

- Schmales Kontaktband – konzentriert hohe Belastungen
  - Favorisiertes Stud Auftreten
  - Geringer Systemverschleiß hält (ungünstiges) Profil über längere Zeit stabil
- Einführung von Anti-Head Check Profilen
  - Hinterschneidung an der Fahrkante
  - Kontakt von FK Richtung Lauffläche verschoben
- AHC Profil begünstigt Stud Bildung
- **Geringer Systemverschleiß und ungünstige Profilkombinationen: Stud-Bildung**



A. Jörg, R. Stock, S. Scheriau, H.P. Brantner, B. Knoll, M. Mach, W. Daves. The Squat Condition of Rail Materials - a Novel Approach to Squat Prevention. Proceedings of CM2015 conference.



R. Stock, W. Schöch: Keeping Rolling Contact Fatigue under Control - Steel Grade Selection & Appropriate Rail Maintenance. WRI 2011 Conference, Chicago

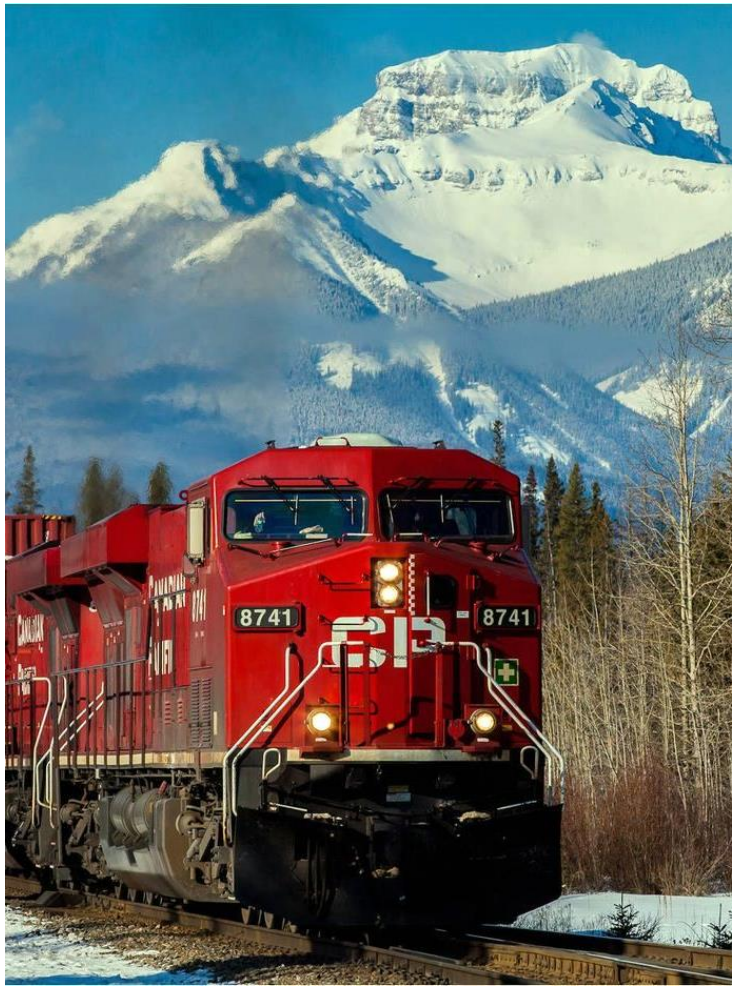
Stud Faktoren

Plasser & Theurer

Plasser American

Traktionsbedingungen

- Studs: Gleisabschnitte mit hohem Traktionsaufkommen
- Signale, Stationen, Beschleunigungs-Abschnitte etc…
- Seit den 90er Jahren Wechsel von DC zu AC Traktion
  - Kontrolliert hohe Traktionskräfte bei hohen Schlüpfen
  - Regelung einzelner Achsen/Motor Gruppen
  - Verbesserte Kontroll-Algorithmen
  - Höhere Kraftübertragung Rad-Schiene
- Verteilte Traktion (EMU/DMU)



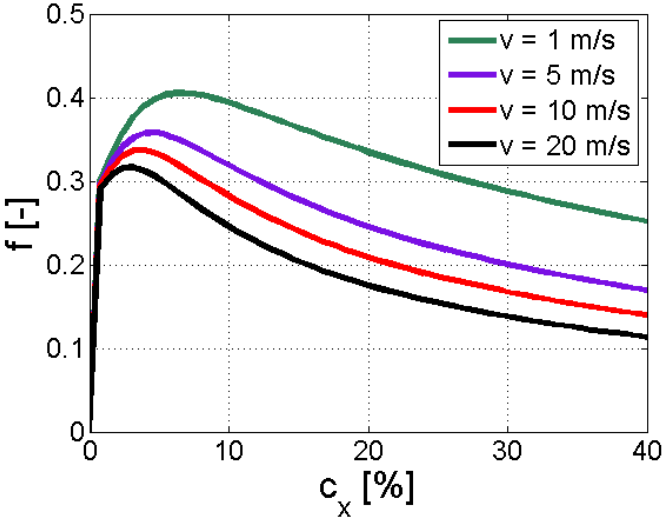
Stud Faktoren

Plasser & Theurer

Plasser American

Reibungsbedingungen und Traktion

- Externe und interne Faktoren beeinflussen Rad/Schiene Reibung
  - Materialabrieb, Bremsabrieb, Feuchtigkeit, Oxide, Sand, Schmiermittel, organ. Material, Wetter
- Resultierende Kraftschlusskurve
  - Maximum + Abfall
- Interaktion der Traktionssteuerung mit unterschiedlichen Reibungsbedingungen
- Reaktion auf schnell ändernde Kraftschlusskurven



Stud Faktoren

Plasser & Theurer

Plasser American

Traktion, Reibung und Profile

- Schmales Kontaktband (z.B. AHC Profile)
  - Traktions-Steuerung: schmales Kontaktband = hohe Kontaktdrücke
  - Hochfeste Schiene: Stabilität des Kontaktbandes
- „feuchte Schienen“ – geringer Kraftschluss
  - Variation der Kraftschlussbedingungen entlang der Schiene
- Reaktion der Traktionskontrolle auf ändernde Bedingungen
  - Resonanzeffekte – Schlupfmarken auf Schienen

Foto: voestalpine

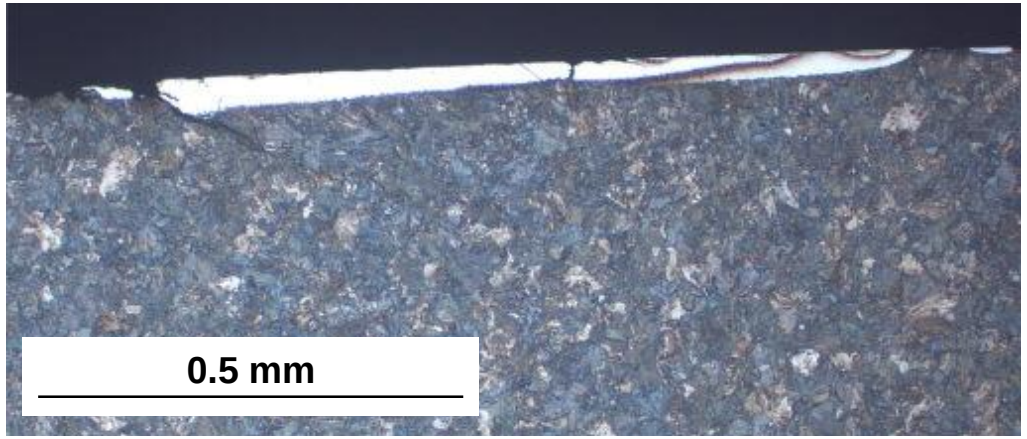
Stud Faktoren

Plasser & Theurer

Plasser American

Ausgangspunkt

- Ausgangspunkt nötig
- Eindruck auf Oberfläche
- Schlupfwellen
- Schweißstoß
- Head Checks
- Oberflächenrauigkeit
- Weiße Schichten
- Allgemeine Unstetigkeitsstelle



Materialumwandlungen

Plasser & Theurer

Plasser American

Weiße Schichten (White Etching Layers)

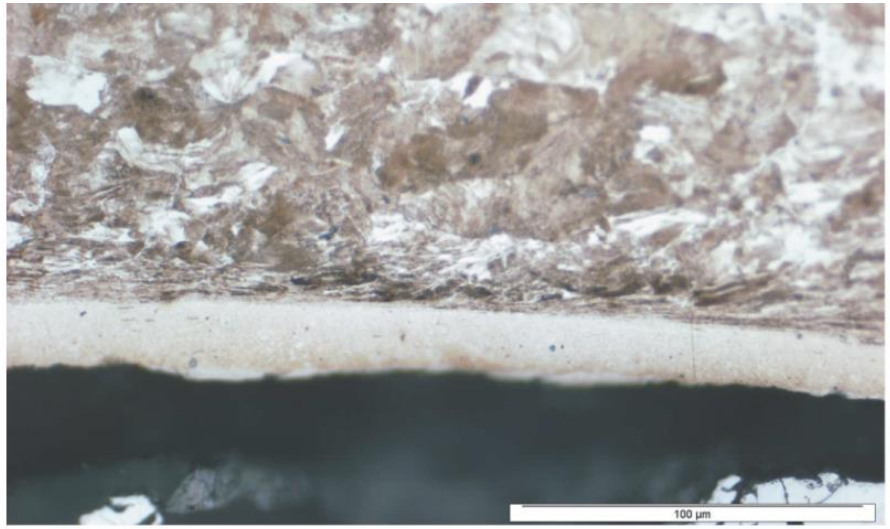
- Bereich auf Schliff der nicht von 3% Nital Säure geätzt wurde – weiß im Lichtmikroskop
- Harte und spröde Schichten

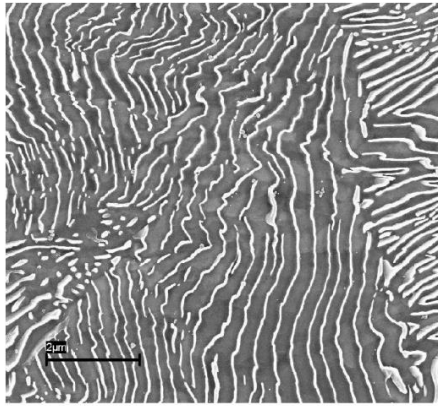
Bildung

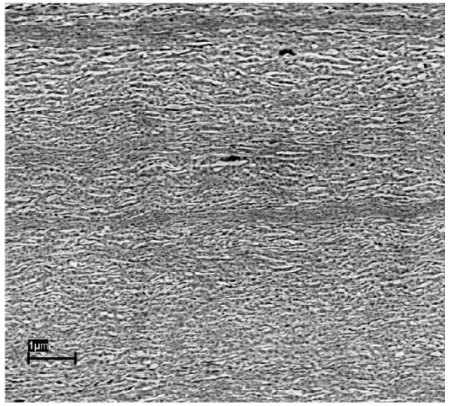
Thermische Umwandlung — Martensitische Struktur

ODER

Hoch-verformung — Amorphe Struktur







Photos: Florian Wetscher, Effect of Large Shear Deformation on Rail Steels and Pure Metals, Doctoral Thesis, 2006, University of Leoben

Martensitische Schichten auf Schienen

Plasser & Theurer

Plasser American

Reibmartensit

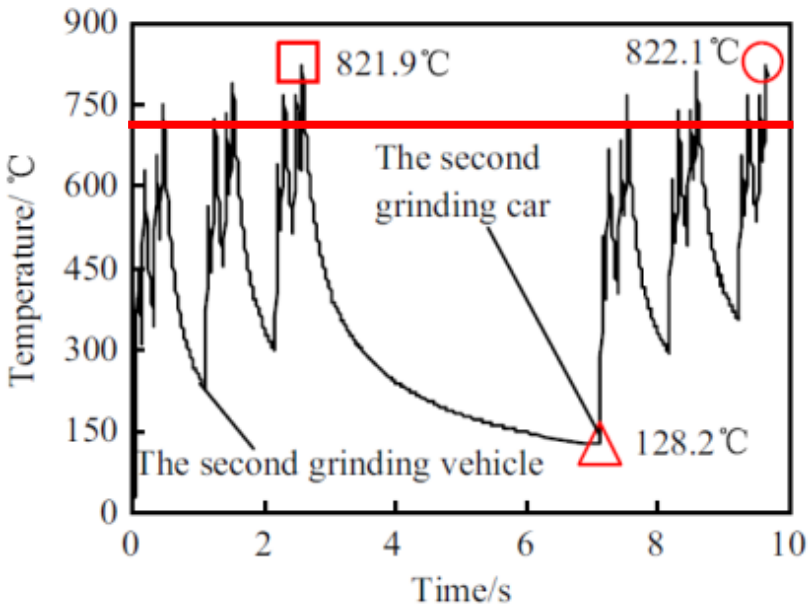
- Schleuderstelle
  - Am Stand schleudernde Räder
- Schlupfmarken
  - Kurzfriste Rad-Schlupfeffekte bei mittleren bis hohen Geschwindigkeiten
- Schieneninstandhaltung
  - Erhitzung der Oberfläche durch Instandhaltungsaktivitäten

Instandhaltungsprozesse

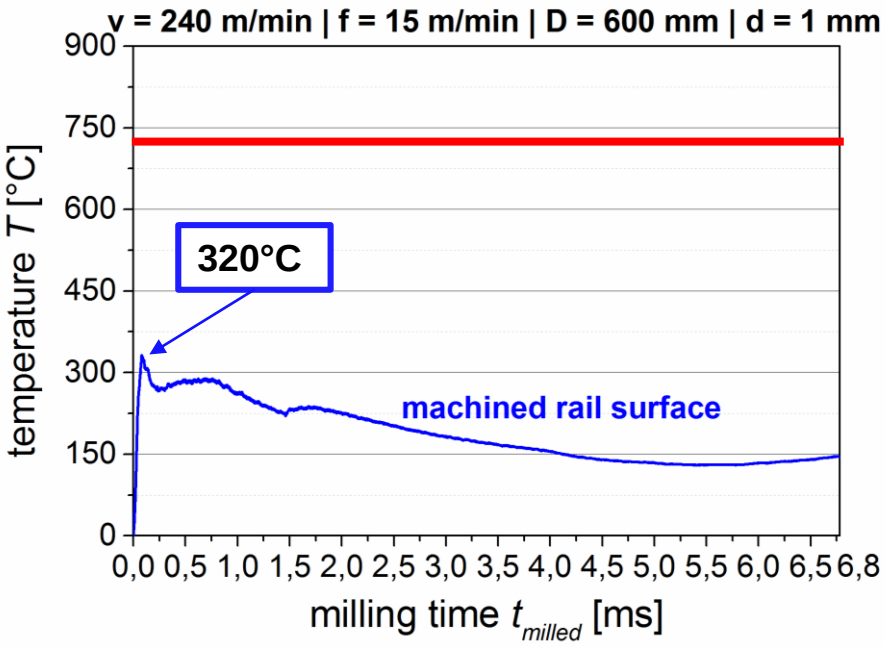
Plasser & Theurer
Plasser American

Temperaturentwicklung in Schienen

- Temperatureintrag bei der Instandhaltung
- T > 723°C möglich für Schleifen – Aussage für Stud-Bildund?



Z.Y. Zhang et. al., Thermal model and temperature field in rail grinding process based on a moving heat source, Applied Thermal Engineering 106 (2016) 855-864.



R. Stock, R. Schwarzenberger., Strategic rail reprofiling for squat mitigation, In proceedings: AUSRAIL 2019 Conference, Sydney, Austrila (2019) 10 pages

Weiße Schichten und Studs

Plasser & Theurer

Plasser American

Einfluss der Instandhaltung

- WELs sind überall zu finden
- Fakt: konventionelle Schleiftechnologie erzeugt weiße Schichten
  - Rotatorisches Schleifen, Bandschleifen, Umfangsschleifen
- Aber: nicht jede WEL resultiert in Studs
- Definition einer kritischen WEL?
- Schieneninstandhaltung: Beitrag aber nicht alleinige Ursache oder Lösung

Stud Faktoren

Plasser & Theurer

Plasser American

System Steifigkeit

- **Empirische Ergebnisse: hohe Systemsteifigkeit favorisiert Stud Bildung**
- Fahrzeug Steifigkeit
  - Primäre und Sekundäre Federung
  - Schlingerdämpfung
- Gleis Steifigkeit
  - Gleisart (Schotter, FF), Zwischenlagen, Schwellen, Schotterzustand, …
- Hohe Steifigkeit bewirkt hohe dynamische Kräfte bei Unstetigkeiten

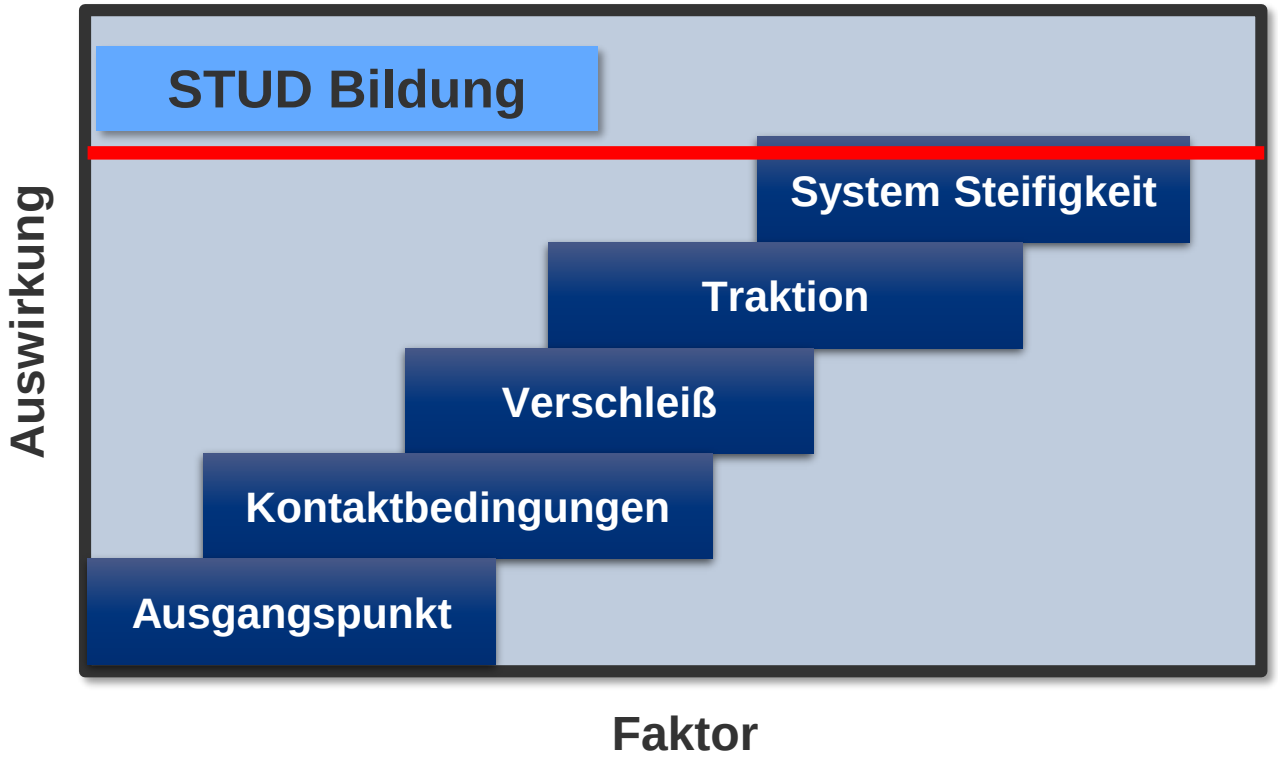
Das Gesamtbild

Plasser & Theurer

Plasser American

Squat / Stud Treppe

- Ausgangspunkt nötig
- Ungünstige Kontaktbedingungen
  - Kontakt-Spannungen
- Geringer Schienenverschleiß
- Ungünstige Traktionsbedingungen
- System mit hoher Steifigkeit



Modifizierte Version der Squat Treppe

Original version: Jörg, A.; Stock, R.; Scheriau, S.; Brantner, H.P.; Knoll, B.; Mach, M.; Daves, W.: The squat condition of rail materials – a novel approach, in: Proceedings of the 10th International Conference on Contact Mechanics CM 2015, Colorado Springs, 2015

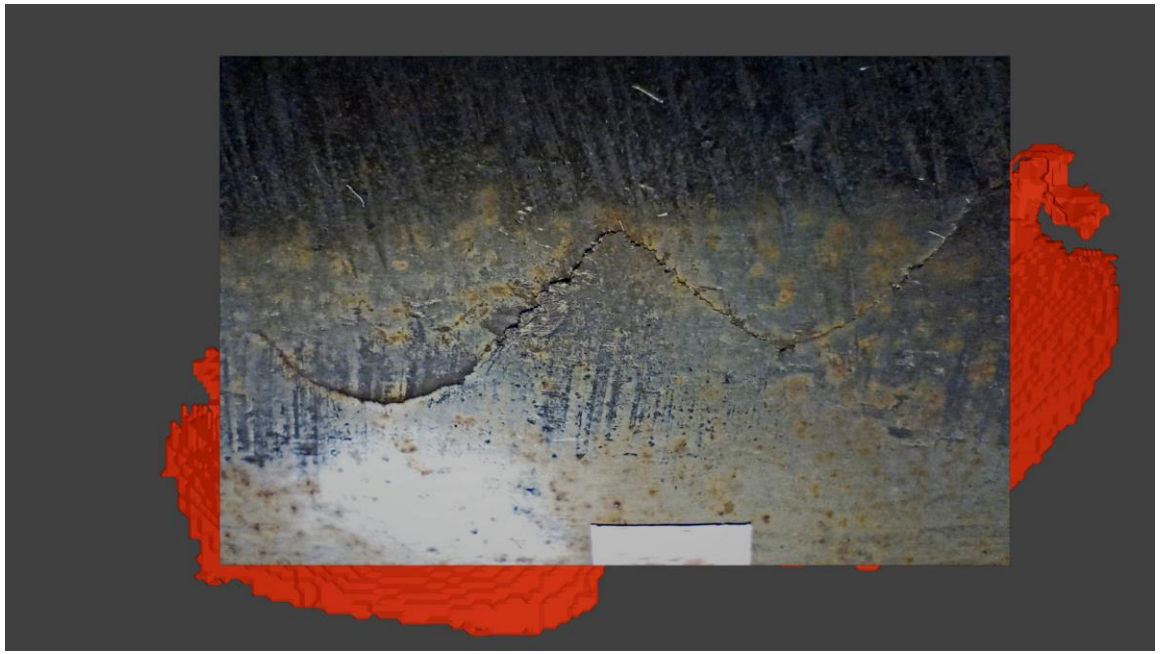
Decoder Projekt - Vorstellung

Plasser & Theurer

Plasser American

Alternative Messtechnologie

- DECODER - Detection and Characterization of Defects in Rails
- Zusammenarbeit mit FH Oberösterreich – University of Applied Sciences
- Thermographisch-visuelle Erfassung von Defekten
- Studs / Squats in frühem Stadium schwer zu detektieren
- Messung stationär und dynamisch
- 3D Charakterisierung von Defekten



Nordamerika

Plasser & Theurer

Plasser American

Defekt auf dem Vormarsch

- Heavy Haul aufgrund Belastung kein Problem
- Bei Transit Systemen „beginnend“
- Fehler bisher unbekannt / unerkannt
- Ausmaß noch nicht abschätzbar
- Projekt bei TCRP (Transport Coop. Research Program) eingereicht

National Research Council Canada

Conseil national de recherches Canada

ARM ADVANCED RAIL MANAGEMENT

Plasser American

Foto: Advanced Rail Management

Studs in Nordamerika

Plasser & Theurer

Plasser American

Bisheriger Wissensstand

- Analyse von ARM / NRC aufgrund Kundenanlassfall
- Wechsel zu Premium Schienen
  - Grund: Verschleiß
- Einführung neuer, moderner Fahrzeuge
- Keine Anpassung der Instandhaltungs-Praktiken
  - HH Schleifen bei Transits
  - Große Intervalle

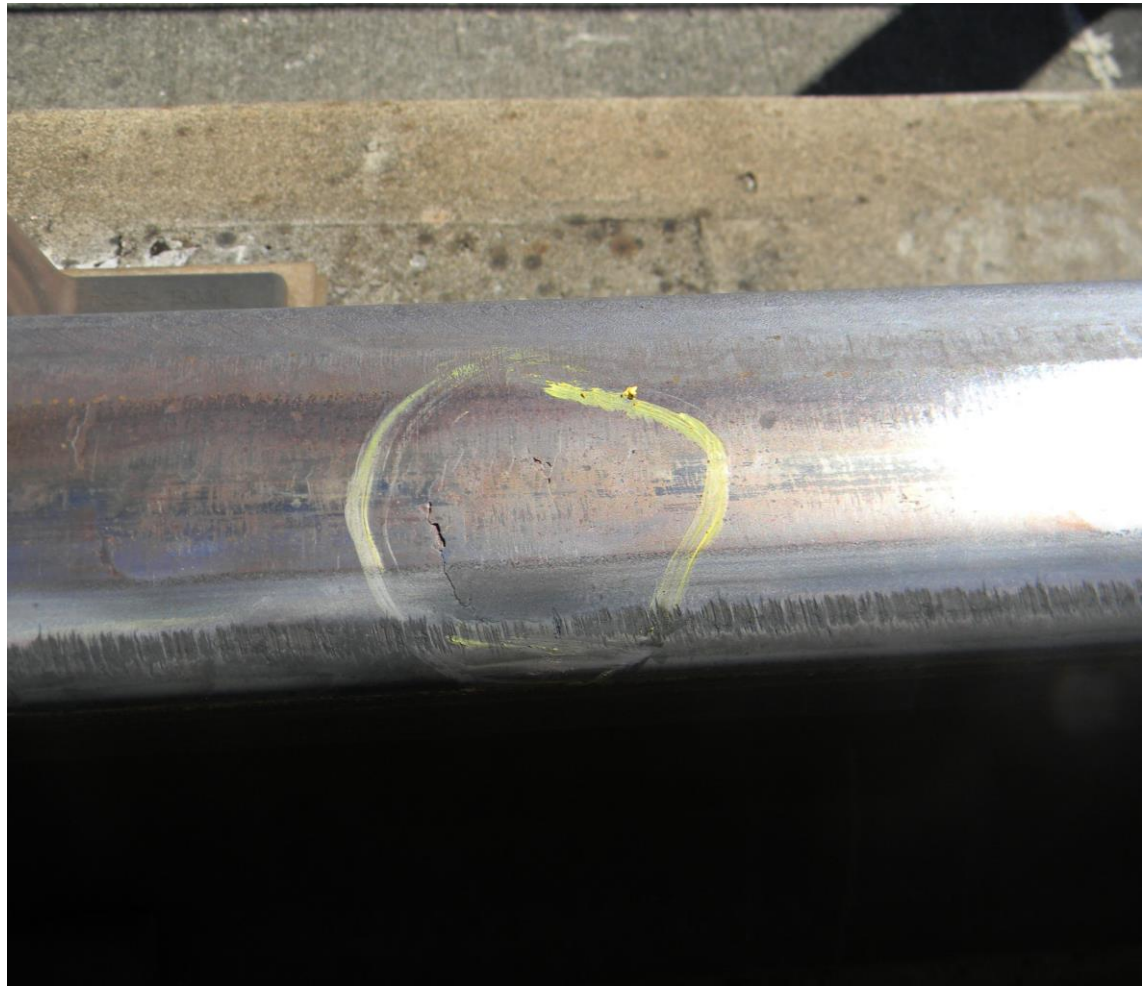


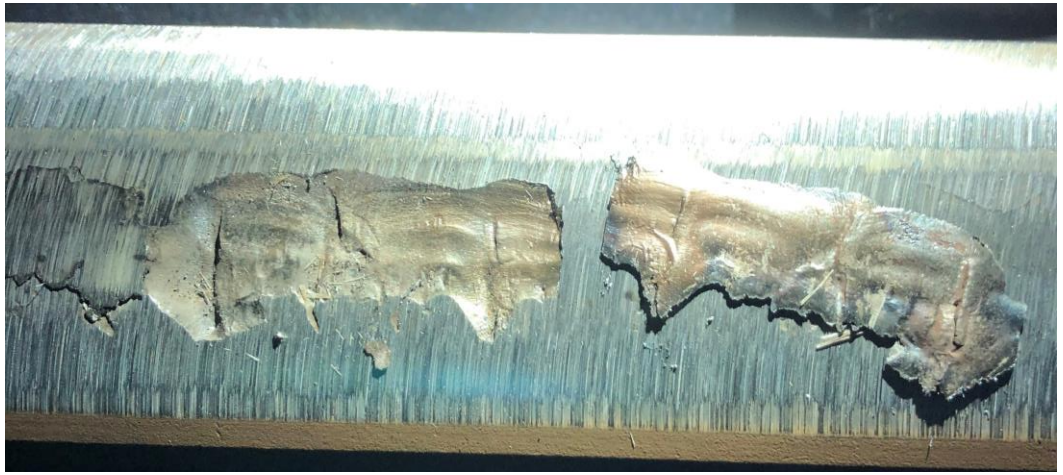
Foto: Advanced Rail Management

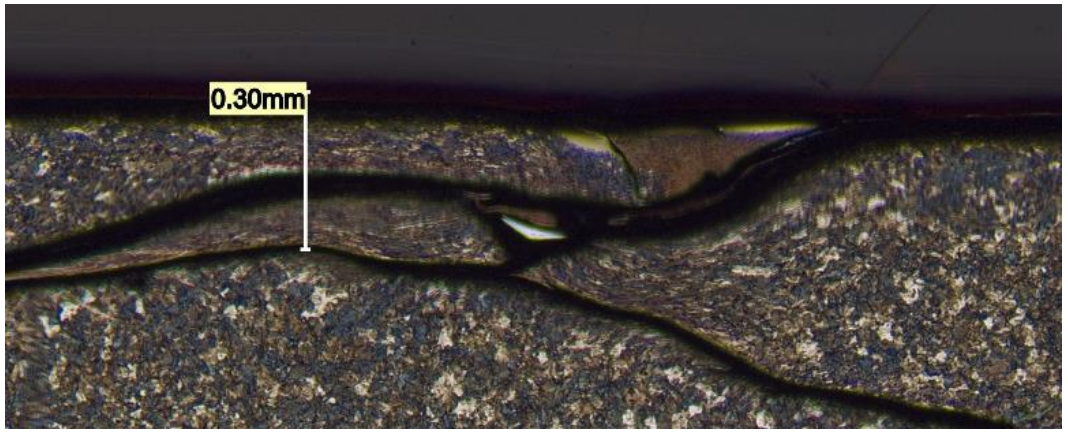
Studs in Nordamerika

Plasser & Theurer
Plasser American

Bisherige Maßnahmen

- Vorzeitiger Schienentausch
  - Unklares Sicherheitsrisiko
- Versuch der Messtechnischen Erfassung
  - Wirbelstrom und Ultraschall
- Entfernung mittels Schleifen und Fräsen
  - Nur Fräsen wirklich geeignet
- Metallographische Analysen
  - Weiße Schichten





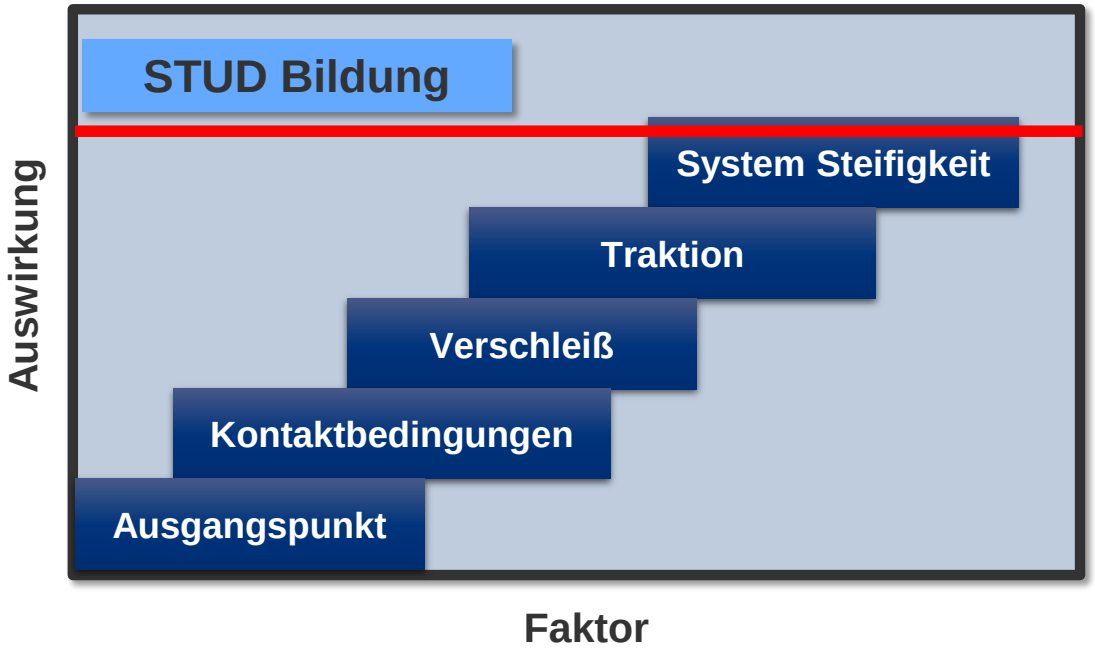
Fotos: Advanced Rail Management

Zusammenfassung

Plasser & Theurer
Plasser American

Squats, Studs und ähnliche Defekte

- Squats und Studs / Squat ähnliche Defekt – unterschiedliche Bildungsmechanismen
- Squat: Bildung und Prävention gut verstanden
- Studs: komplexes, multi-Faktor Problem



Systemverständnis und Systemansatz zur nachhaltigen Lösung nötig

Plasser & Theurer

Danke für die Aufmerksamkeit

Dr. Richard Stock, Global Head of Rail Solutions