

System Rad/Schiene: Tradition versus Innovation

41. Tagung "Moderne Schienenfahrzeuge" 2013

1

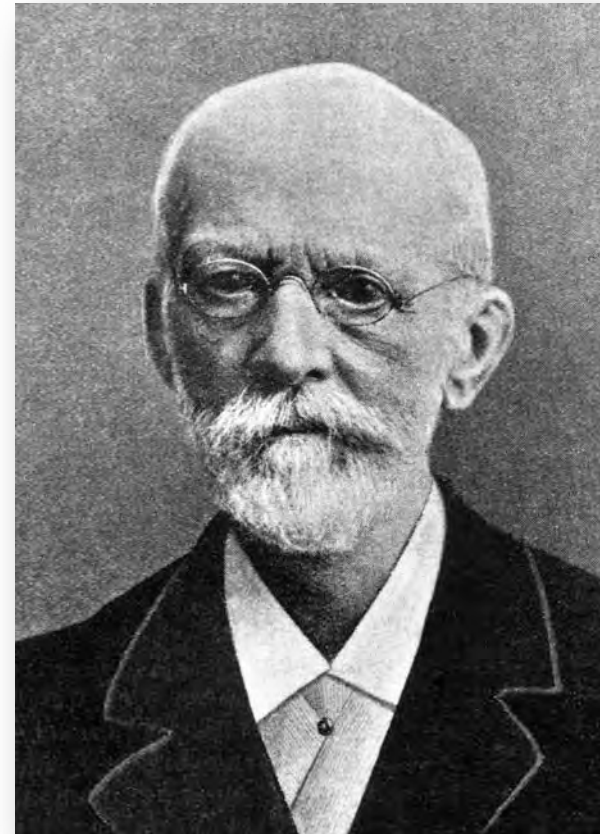
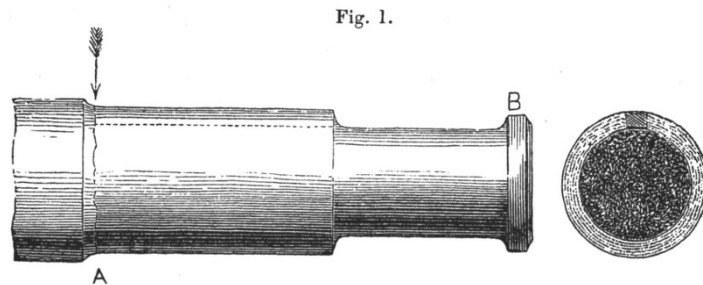


Paul Mittermayr, Bernhard Barkow

Dr. Mittermayr Scientific Consulting GmbH (BAMM)

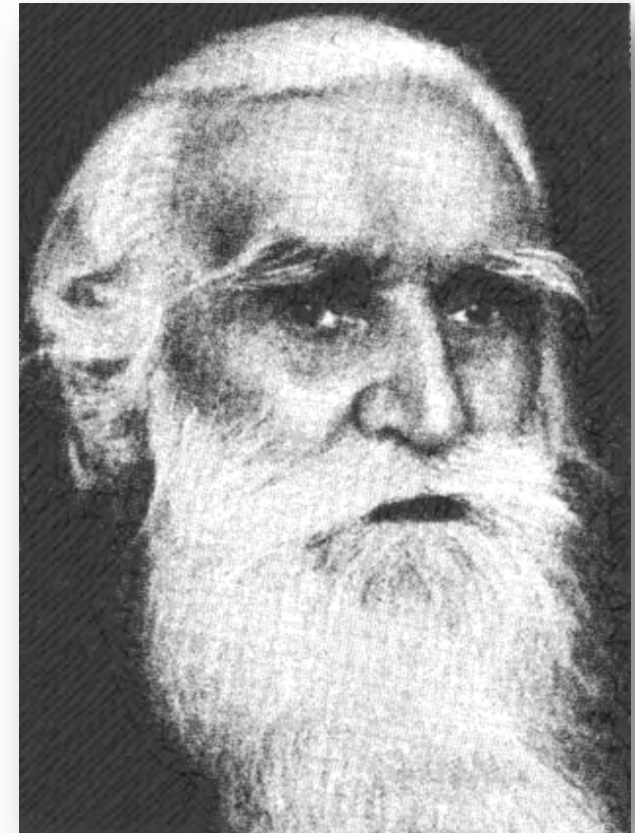
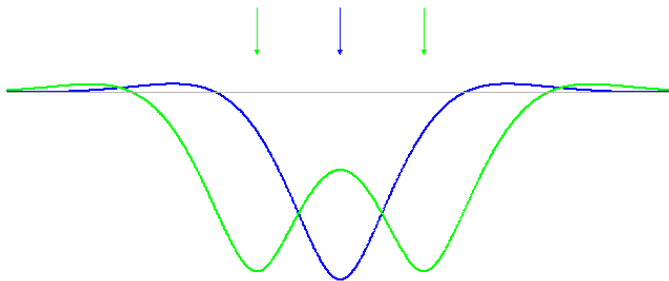
August Wöhler (1819 – 1914)

Bruch einer Radsatzwelle (1875)
Dauerschwingfestigkeit



Hermann Zimmermann (1845 – 1935)

„Derartige Meinungsverschiedenheiten werden, wenn man aus der Vergangenheit auf die Zukunft schließen darf, vermutlich nicht durch die praktische Erfahrung allein gehoben werden, sondern es wird dazu besonderer Versuche bedürfen, deren zweckmäßige Anordnung und fruchtbringende Verwertung ohne Hilfe der Wissenschaft nicht wohl denkbar ist. Hier ist der Punkt, wo die Theorie einsetzen kann und muss. In solchen Fällen wird der Forscher auch vor verwickelten und umfangreichen mathematischen Untersuchungen nicht zurückschrecken dürfen. ...“



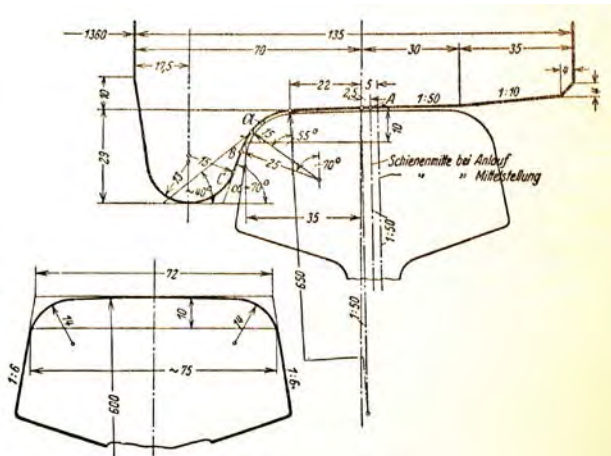
Knothe, K.: Schwedler, Zimmermann und Timoshenko. ZEV-Rail 127, 2003.

Hermann Heumann (1878 – 1967)

Kontaktmechanik

Bogenlauf (Minimumverfahren)

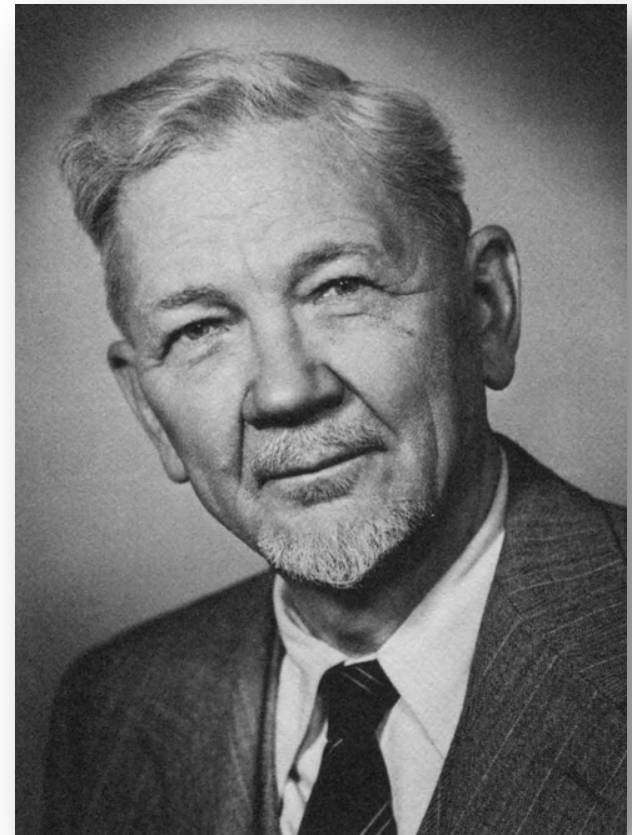
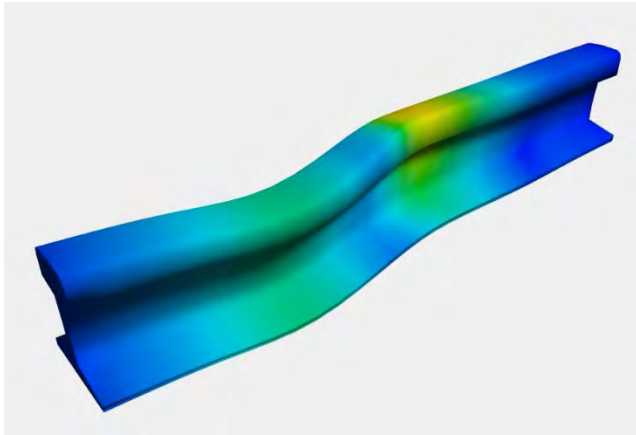
Radprofile



Knothe, K.: Hermann Heumann. Bogenlauf. ZEV-Rail 127, 2003.

Stephen Timoshenko (1878 – 1972)

Theoretische Überlegungen zur
Dynamik der Schiene
Messtechnische Verifikation



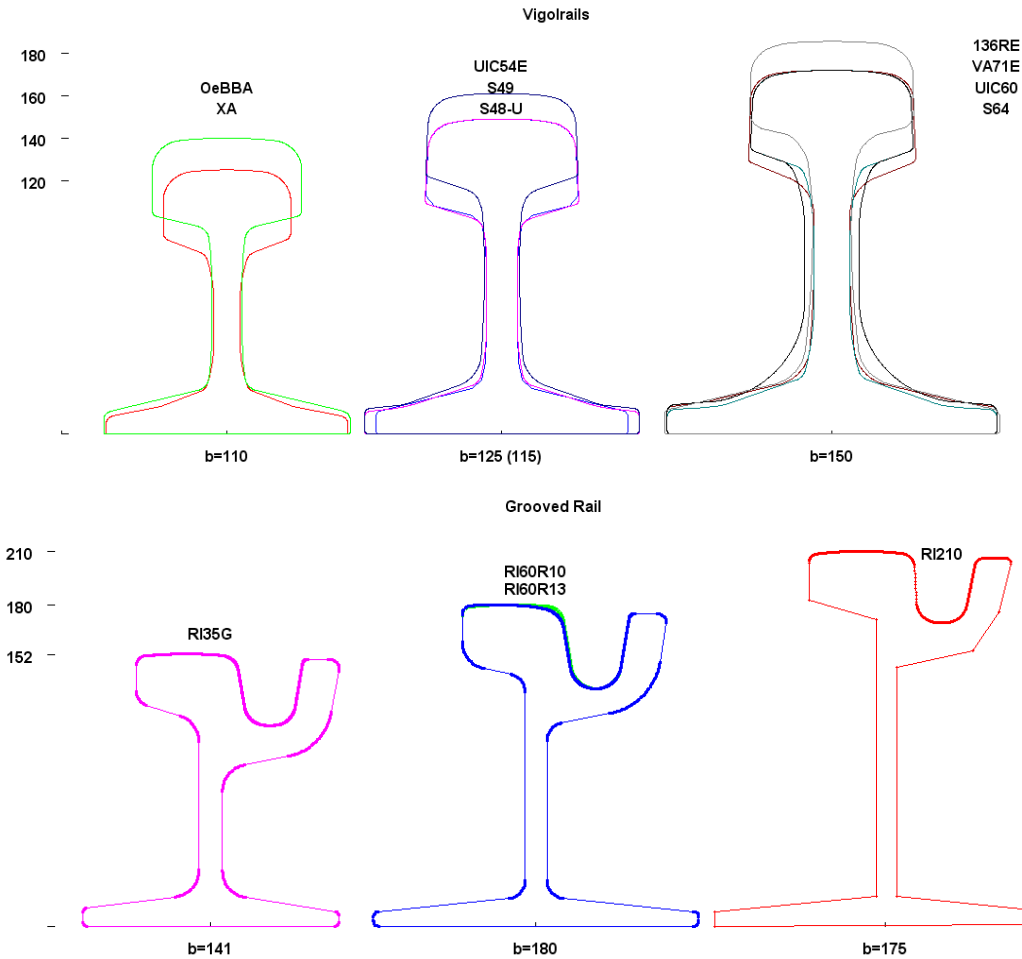
Sonderberg, R.: Stephen P. Timoshenko. A Biographical Memoir. Nat. Academy of Sci. 1982

Mit dem Fahrplan wurde ein Zeitnormal notwendig
 Lokalzeit (Sonnenstand), Ortszeit (Netz weit) bis Zeitzonen



© Martin Hasselblatt

Spur und Profil – die Fesseln der Eisenbahn: Entwicklung der Schienenprofile



Innovationen:

Ballige Schiene

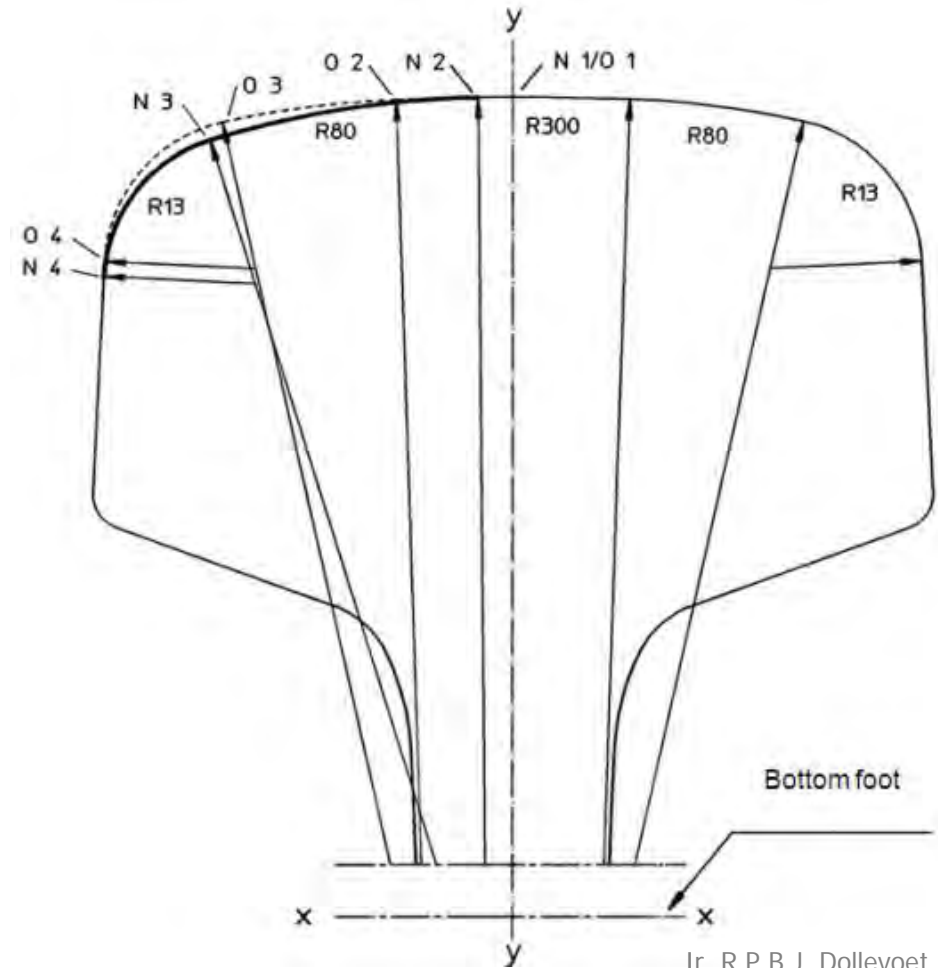
Asymmetrisches Profil

AHC Profile (54E5)

Werkstoffe

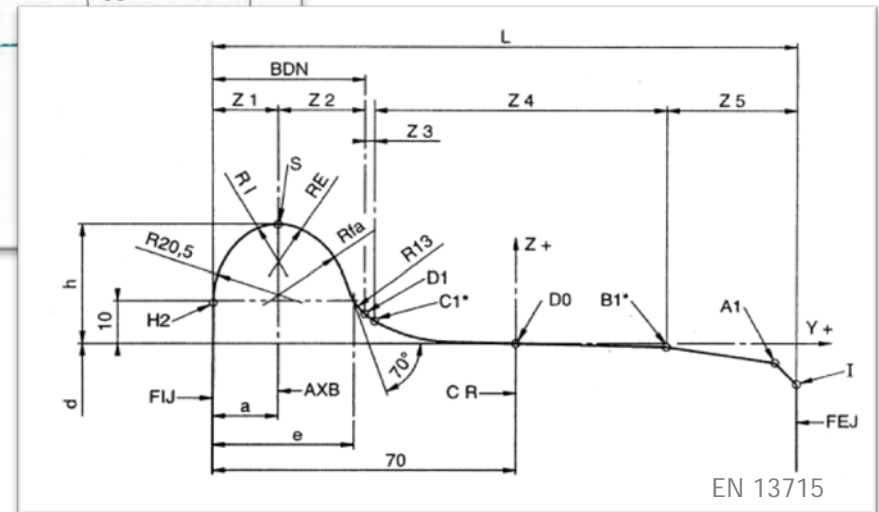
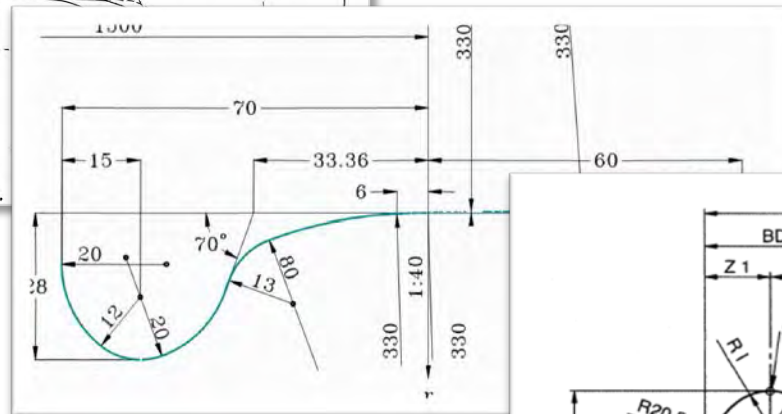
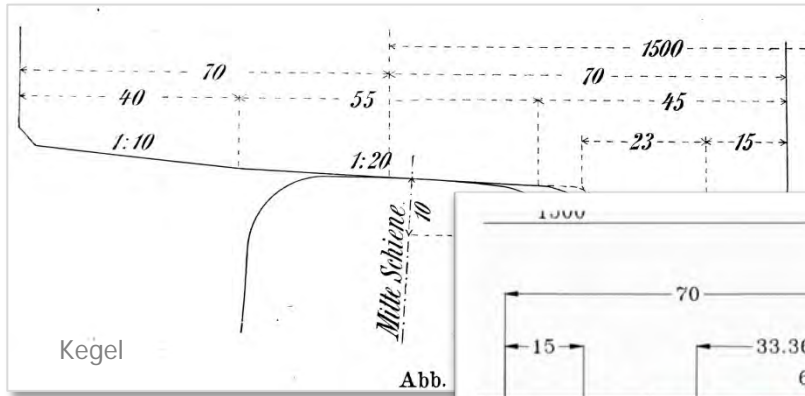
Kopfhärtung

Friction Control

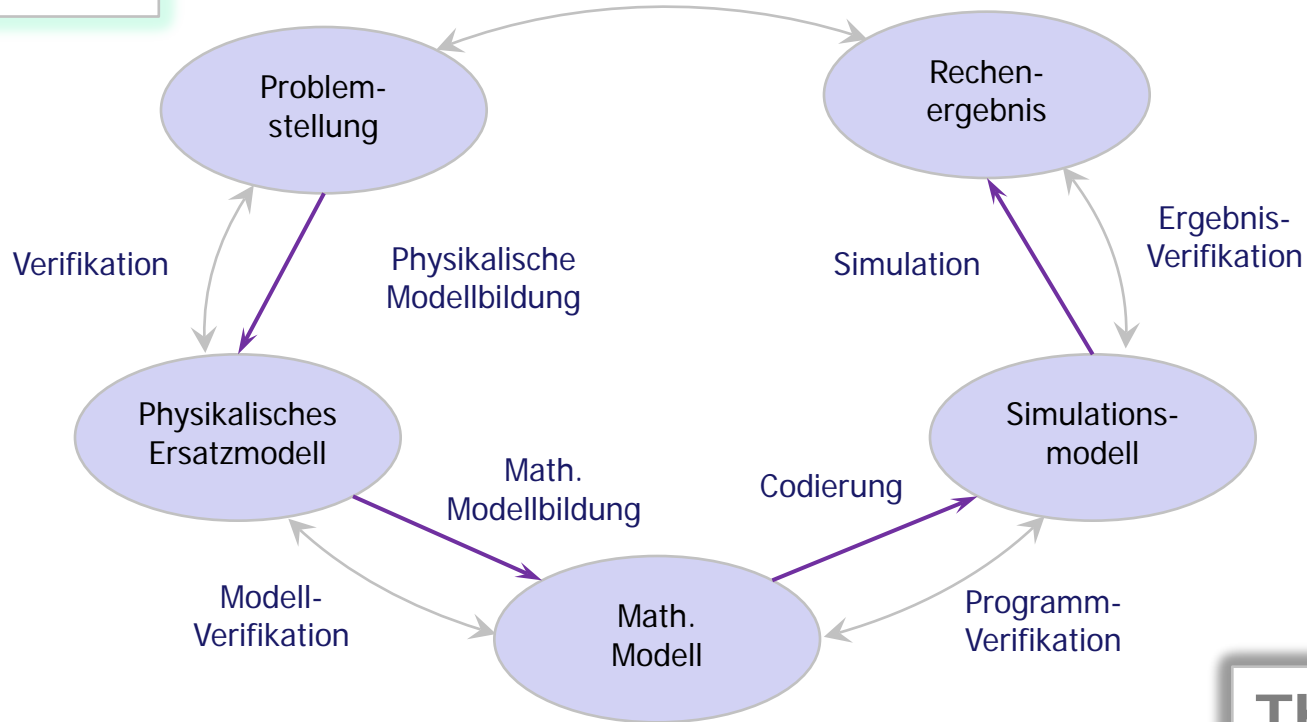


Ir. R.P.B.J. Dollevoet

Kegel → Kreisbogen → verschleißangepasst



Praxis



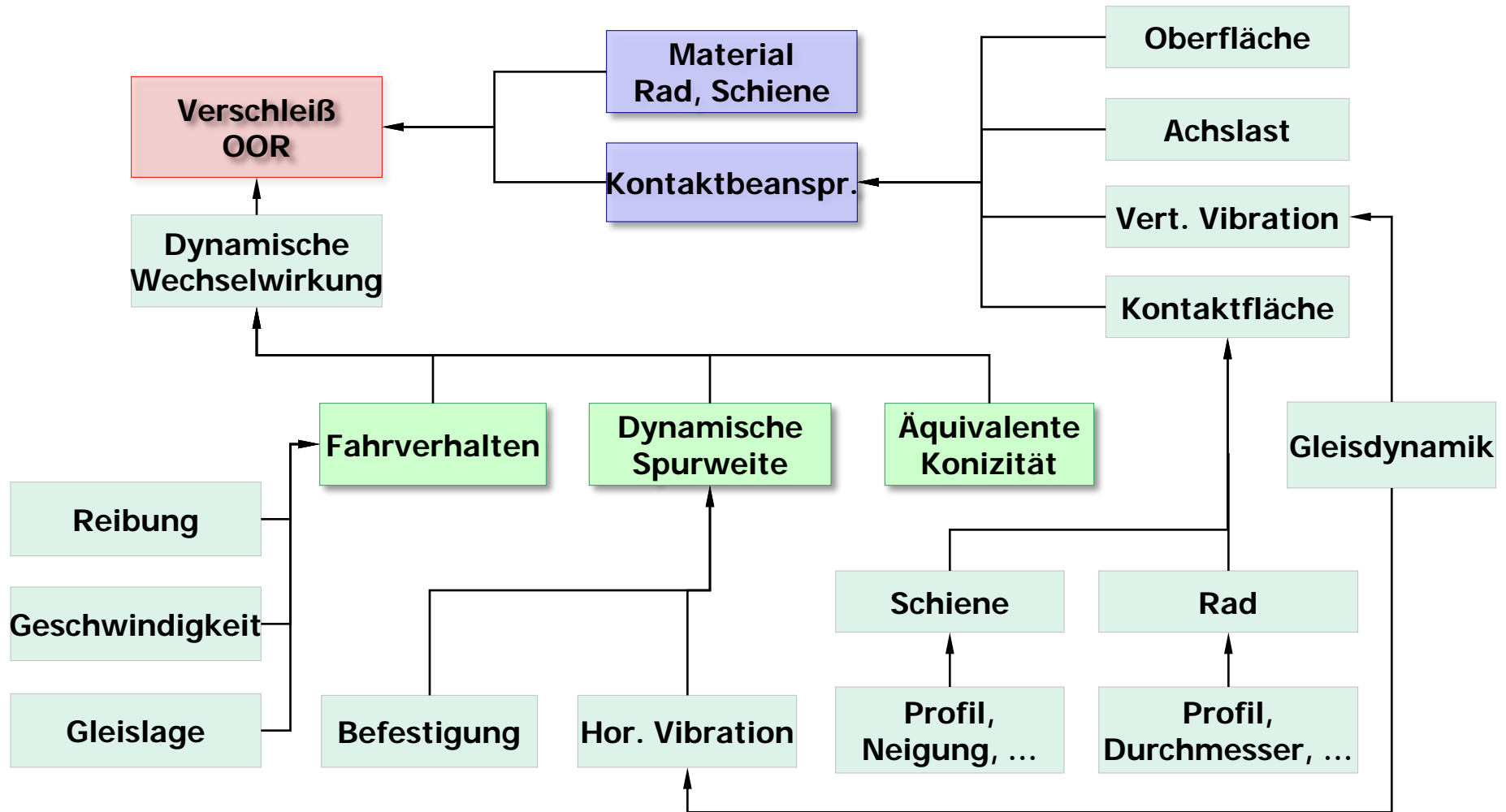
Theorie

Kortüm, W., Lugner, P.: Systemdynamik und Regelung von Fahrzeugen.

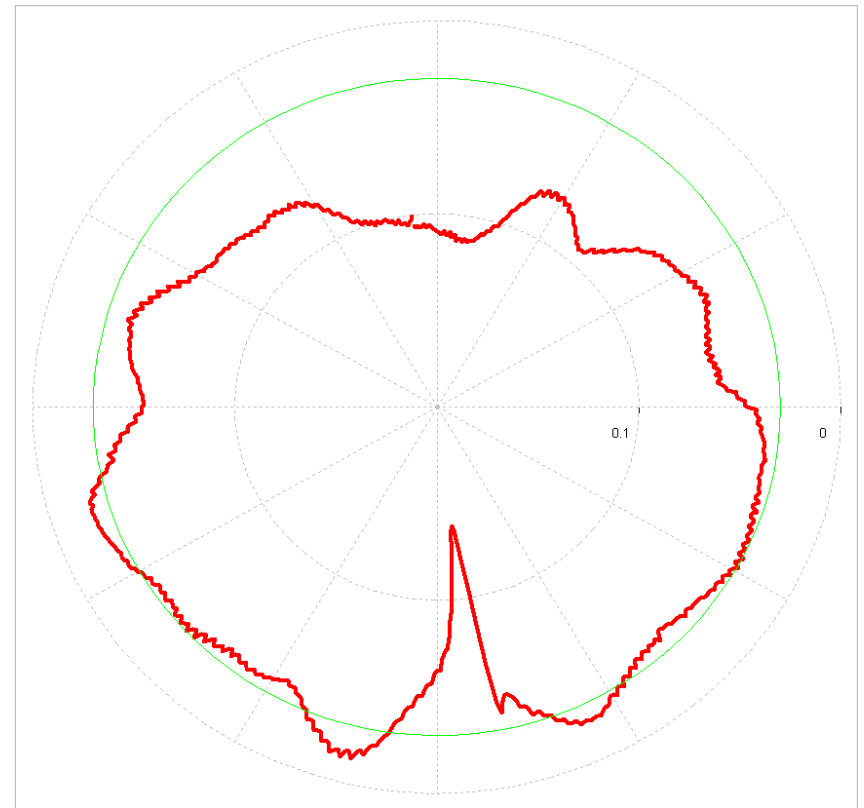
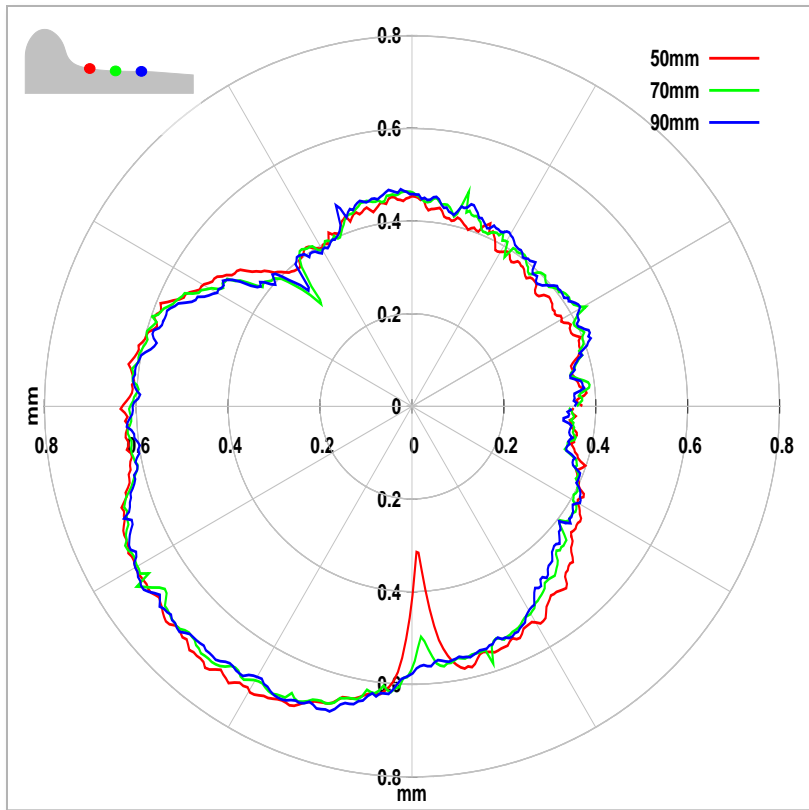
*Messen was messbar ist – messbar
machen was nicht messbar ist.*

Galileo Galilei (1564 – 1642)






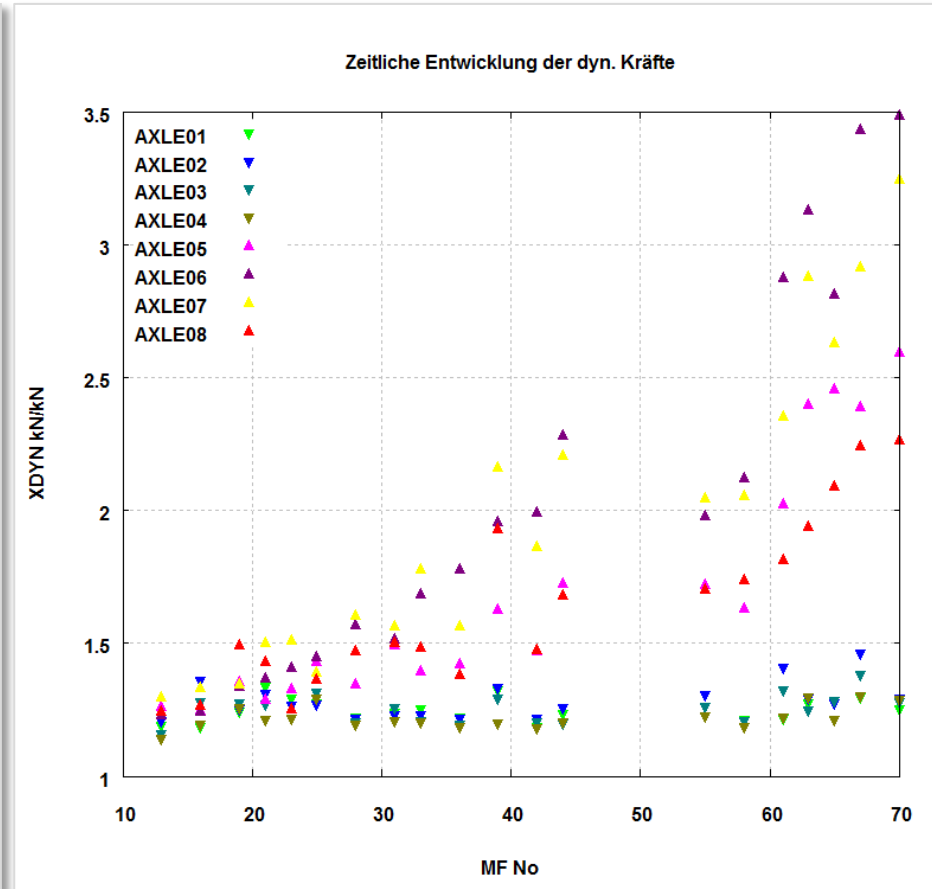
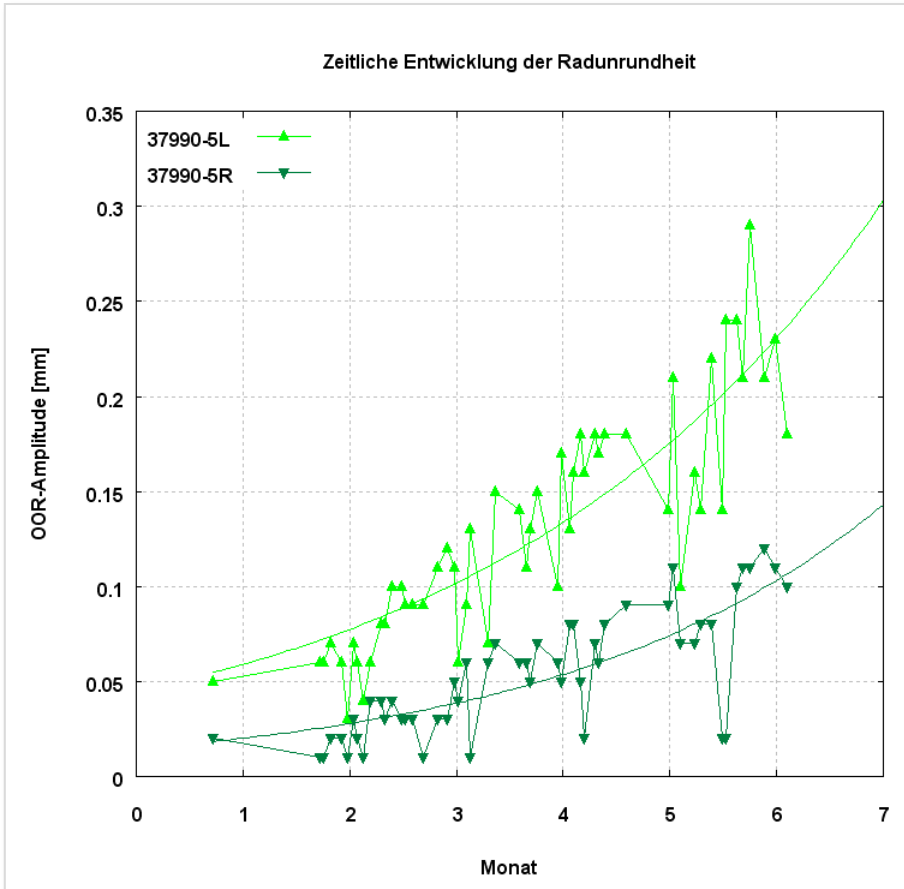
Bewertung nach rein geometrischen Kriterien (Länge, Tiefe), Wirkung durch Masse und Geschwindigkeit bleibt unberücksichtigt. Beispiel: Flachstelle – Messdaten und Simulation



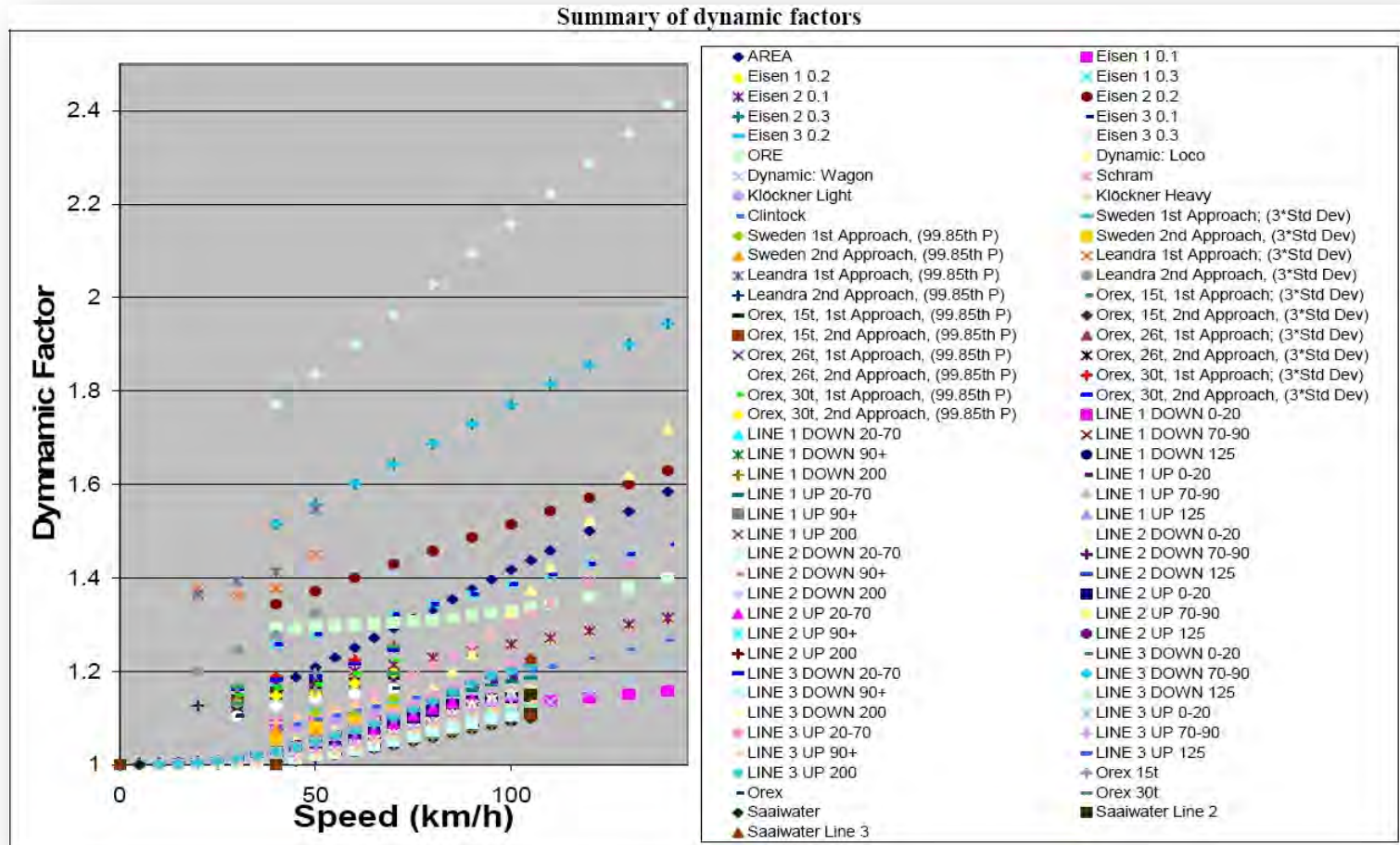
Projekt: "SIMOOR"

Unterstützt von der  FFG

Zeitreihe Radunrundheit (OOR) und dynamische Kräfte

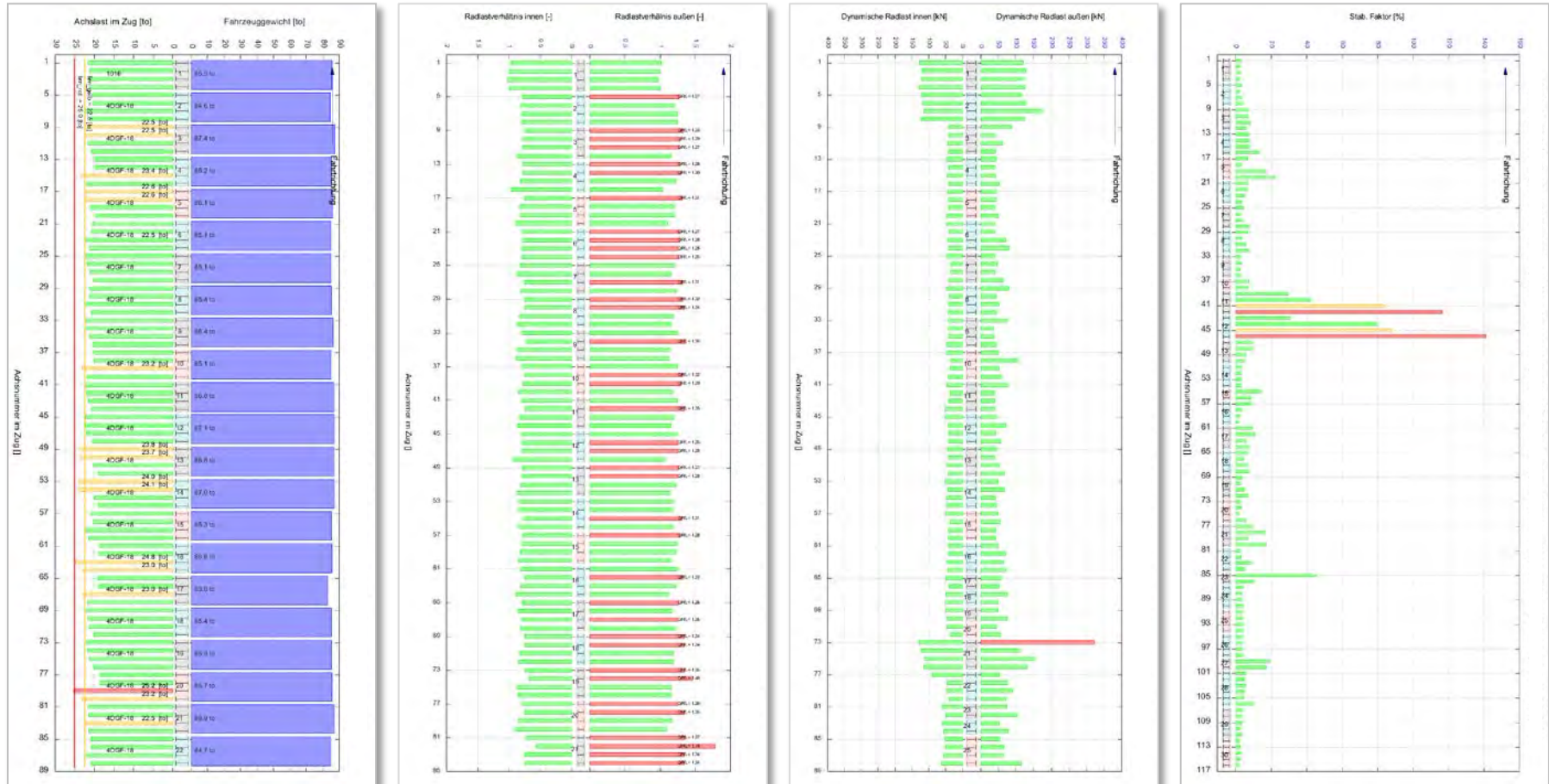


Abschätzung der Dynamik durch empirische Faktoren



Siehe: Naude, F. P.: Development of a Methodology for Calculating Stresses in Track Components. Fac. of Eng. Univ. of Pretoria. October 2004

Überprüfungen: Achsmasse, dynamische Kräfte, Laufstabilität, ...



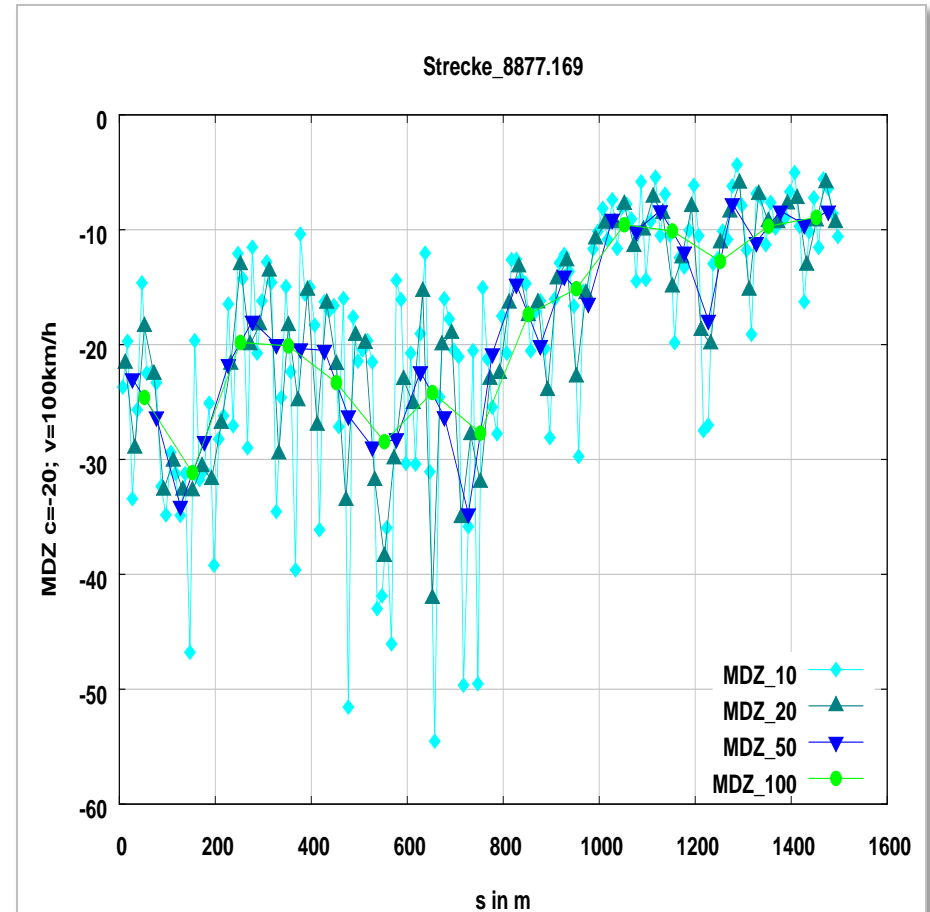
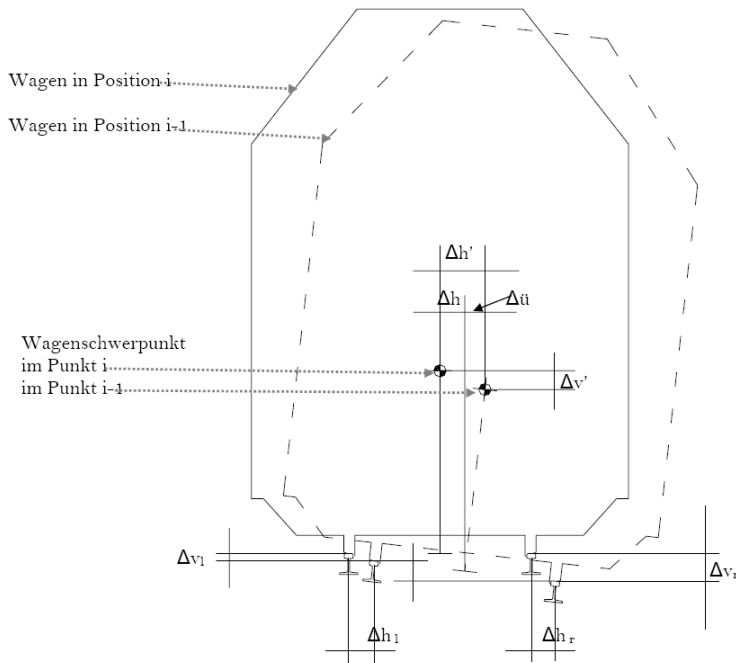
Messung der Gleislagequalität, MDZ

Ruck?

Schwerpunktslage

Kalibrierung

siehe: Schubert, Rießberger, Auer



Dynamik des starren Fahrzeuges (PMA)

Streifentheorie:

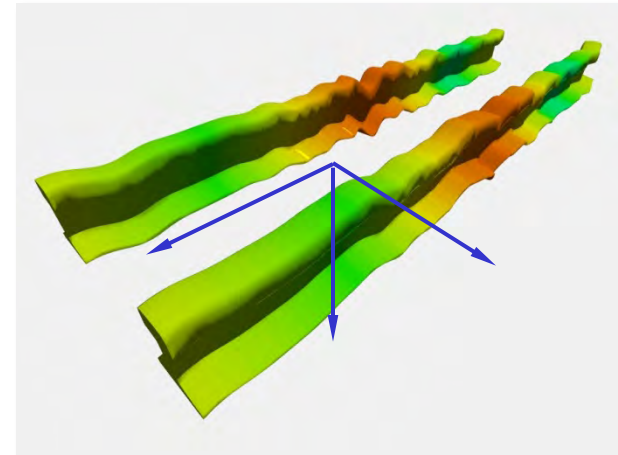
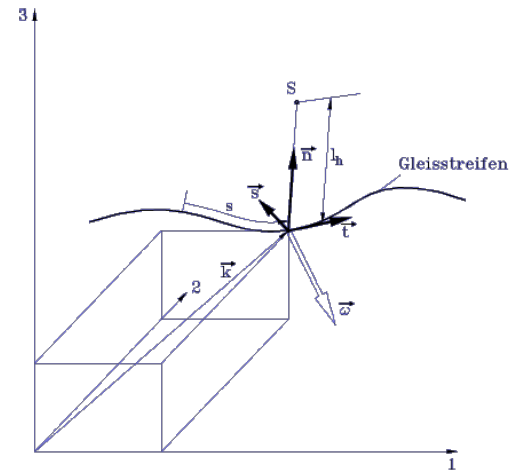
$$\begin{aligned} \vec{t}' &= \gamma(s) \cdot \vec{s} - \beta(s) \cdot \vec{n} \\ \vec{s}' &= -\gamma(s) \cdot \vec{t} + \alpha(s) \cdot \vec{n} \\ \vec{n}' &= \beta(s) \cdot \vec{t} - \alpha(s) \cdot \vec{s} \end{aligned}$$

Schwerpunkt:

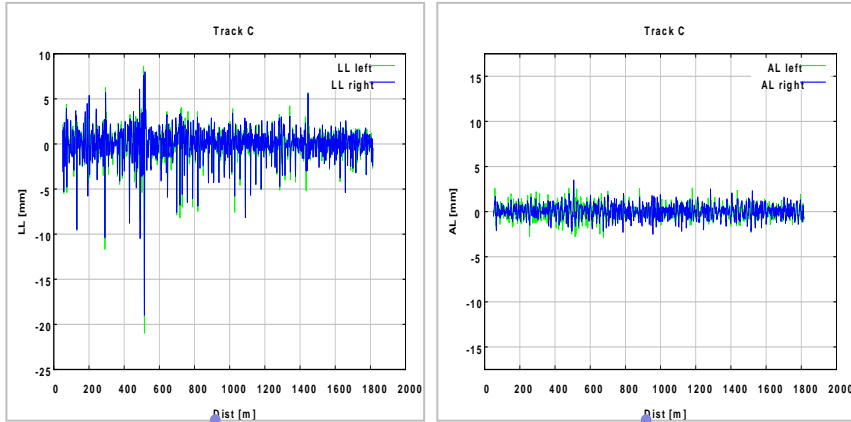
$$\vec{x}_s(s) = \vec{k}(s) + l_h \cdot \vec{n}(s)$$

Beschleunigung des Schwerpunktes

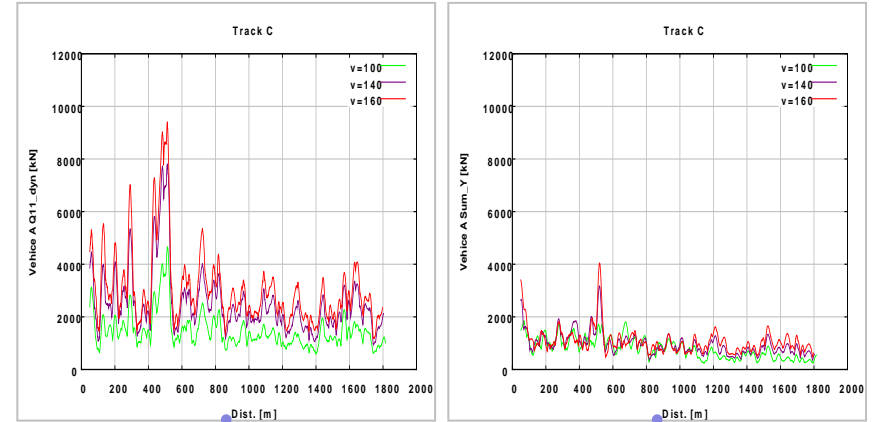
$$\begin{aligned} \ddot{\vec{x}}_s(s) &= [\ddot{s} \cdot (1 + l_h \cdot \beta) + \dot{s}^2 \cdot l_h \cdot (\beta' + \alpha \cdot \gamma)] \cdot \vec{t} + \\ &+ [-\ddot{s} \cdot l_h \cdot \alpha - \dot{s}^2 \cdot l_h \cdot \alpha' + \dot{s}^2 \cdot (1 + l_h \cdot \beta) \cdot \gamma] \cdot \vec{s} - \\ &- \dot{s}^2 \cdot [(1 + l_h \cdot \beta) \cdot \beta + l_h \cdot \alpha^2] \cdot \vec{n} \end{aligned}$$



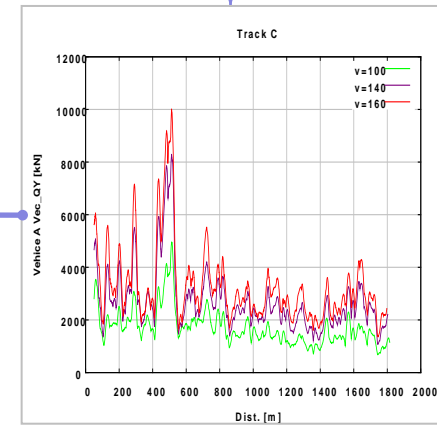
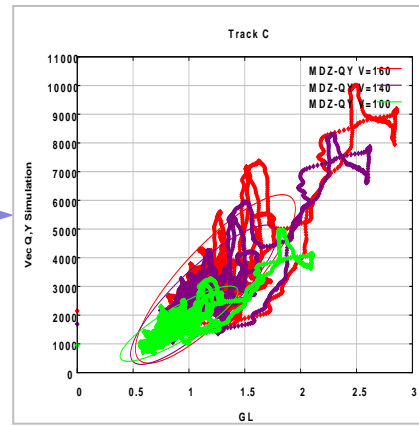
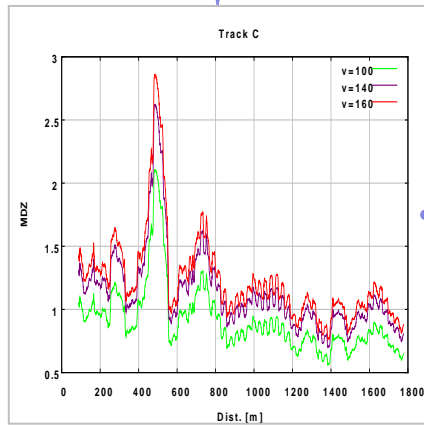
Gleisgeometrie (gemessen)



Fahrzeugreaktion (Simulation)



Bewertung



Was ist wird zur Beurteilung der Rad-Schienenengeometrie gemessen?

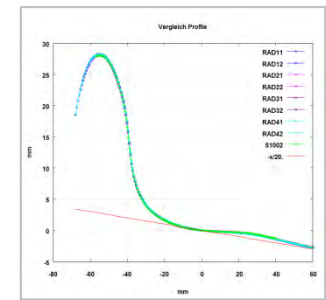
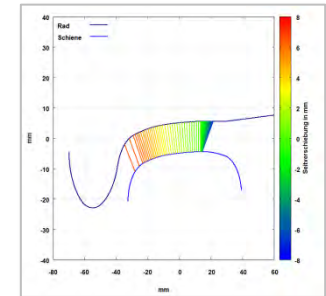
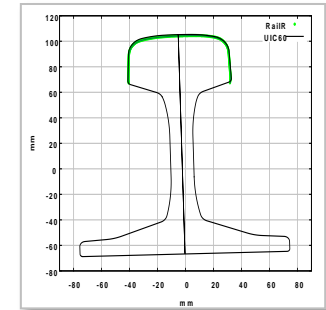
Schienenmessdaten

- Abnutzung (Seiten-, Höhenabnutzung, Flächenverlust)
- Spurweite
- Einbauneigung (Lagerung)
- Schienenquerprofil (optisch, Netz weit)
- Schienenoberfläche (Fehlererkennung optisch)

Radmessdaten

- Durchmesser (Rundheitsabweichung)
- Spurkranz (Dicke, Höhe, Steilheit, Rückenabnutzung)
- Lauffläche: Hohllauf
- Radquerprofil

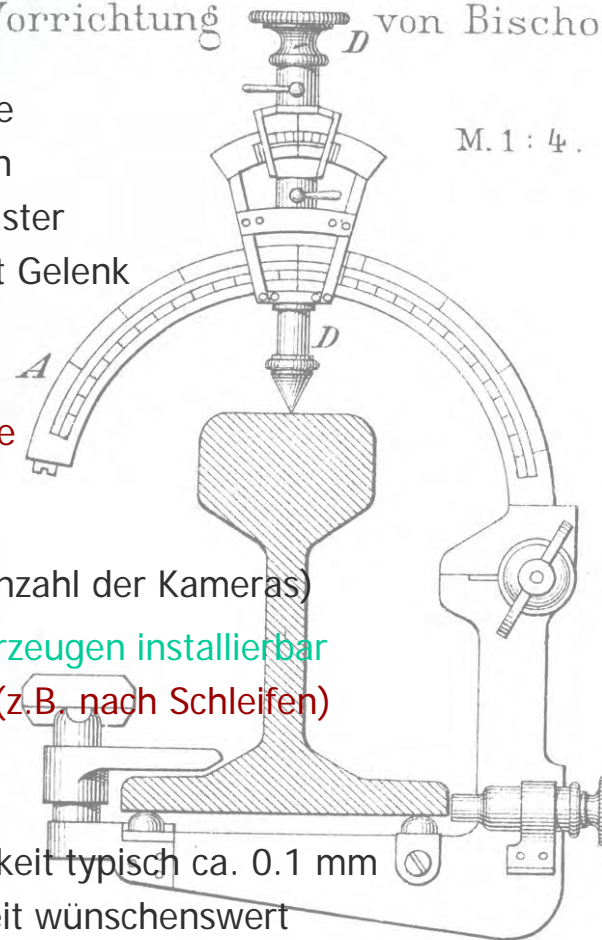
Ziel: von Einzelparametern zur Gesamtbeurteilung!
 Äquivalente Konizität (abhängig von der Amplitude)
 Radialstellungsindex für den Bogenlauf



Mechanisch Profilabtastung

- Handzeichengeräte
- diverse Messlehren
- lineare Konturabtaster
- Konturabtaster mit Gelenk
- genau
- Langsam
- Oft nur Einzelwerte

Vorrichtung ^g _D von Bischoff.



Optische Methoden

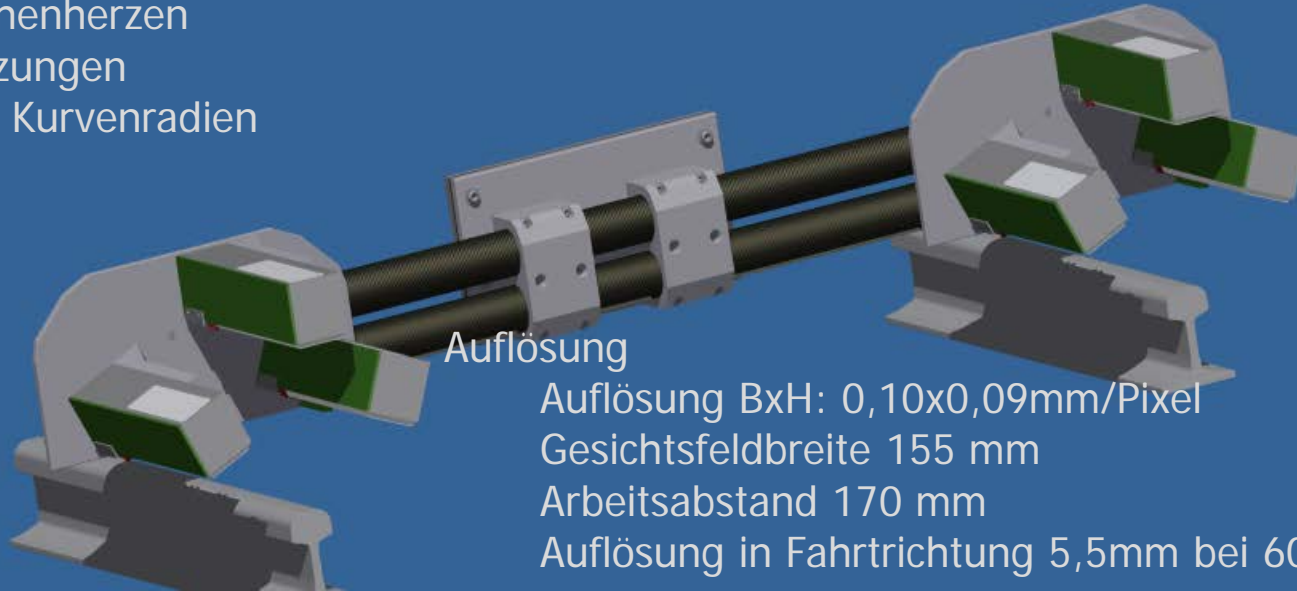
- Laserbasierend (Anzahl der Kameras)
- Rasch, in Messfahrzeugen installierbar
- Reflexionseffekte (z.B. nach Schleifen)

Erzielbare Genauigkeit

- Wiederholgenauigkeit typisch ca. 0.1 mm
- Höhere Genauigkeit wünschenswert
(Krümmung R13 bei 1 mm Punktabstand: .038 mm)



Weichenherzen
Kreuzungen
Enge Kurvenradien



Auflösung

Auflösung BxH: 0,10x0,09mm/Pixel

Gesichtsfeldbreite 155 mm

Arbeitsabstand 170 mm

Auflösung in Fahrtrichtung 5,5mm bei 60km/h



Vom Querschnitt zur Oberfläche

Projekt: „PlasmaTram“



Unterstützt von der



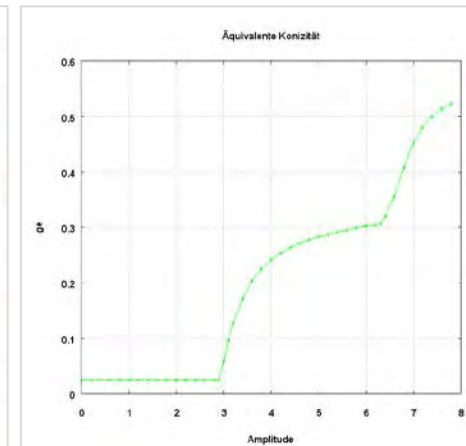
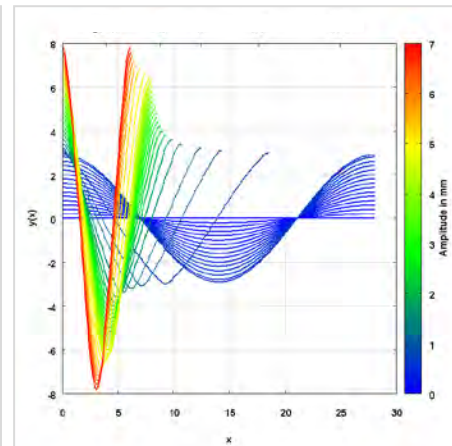
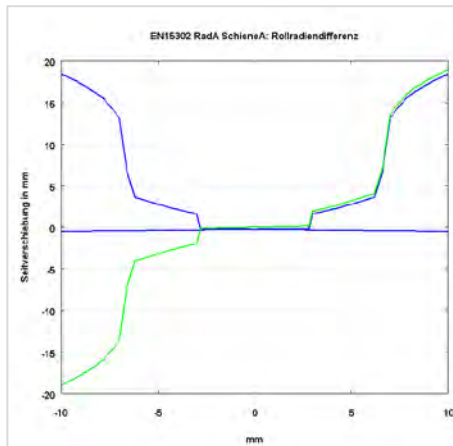
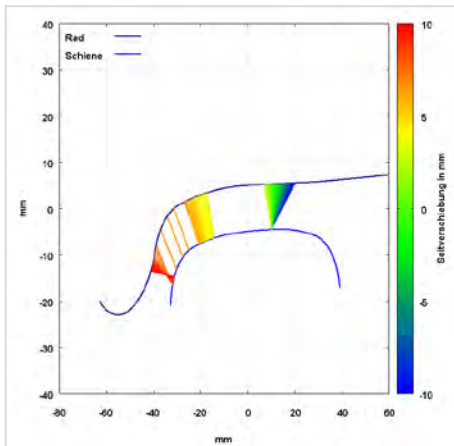
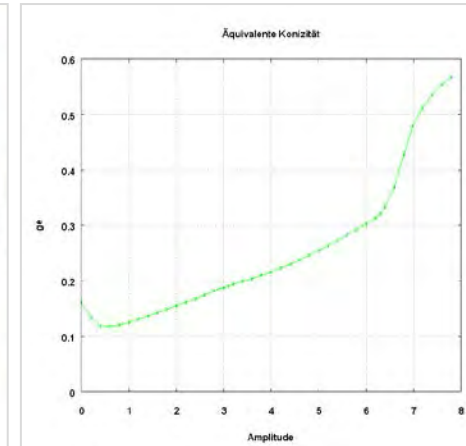
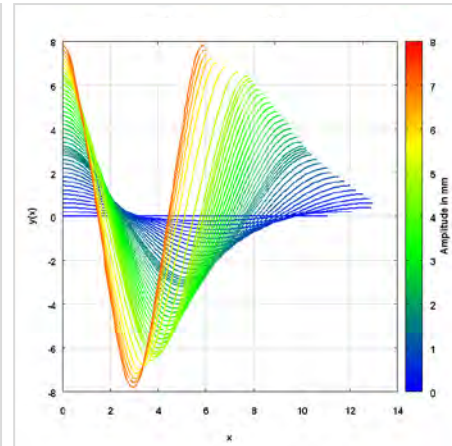
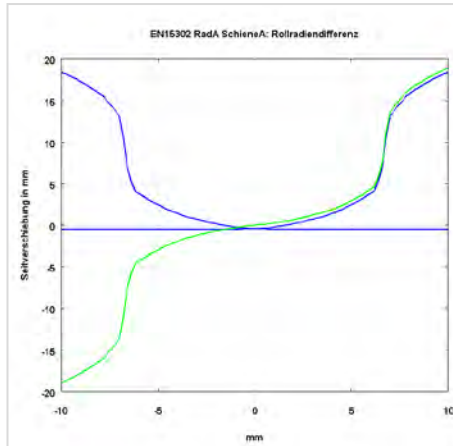
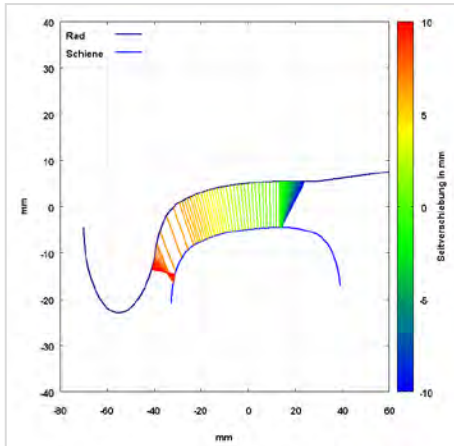
EN 15302: Schienenprofil A mit Radprofil A/B

Rad/Schiene Berührlagen

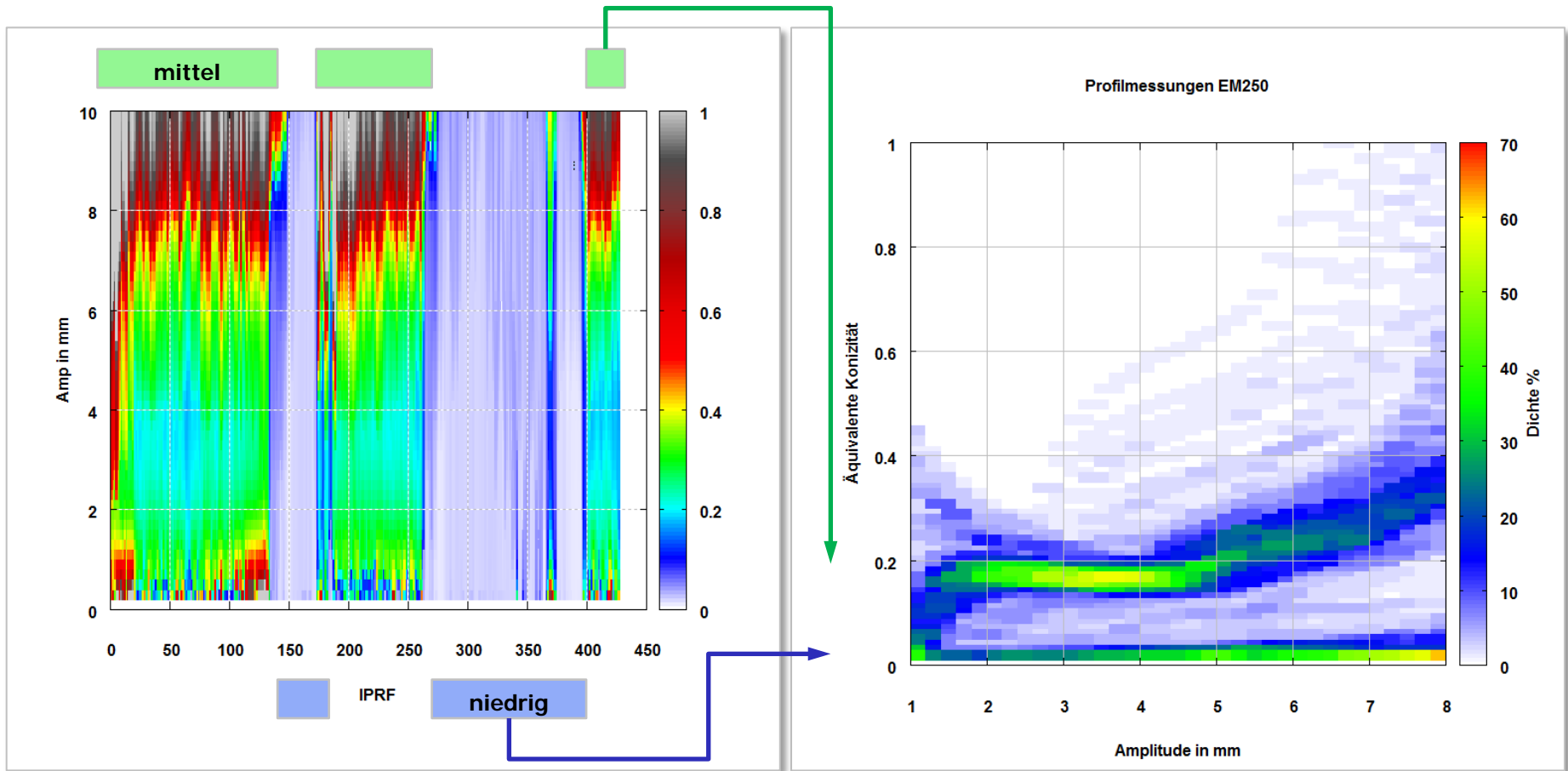
Rollradiendifferenz

Wellenlauf

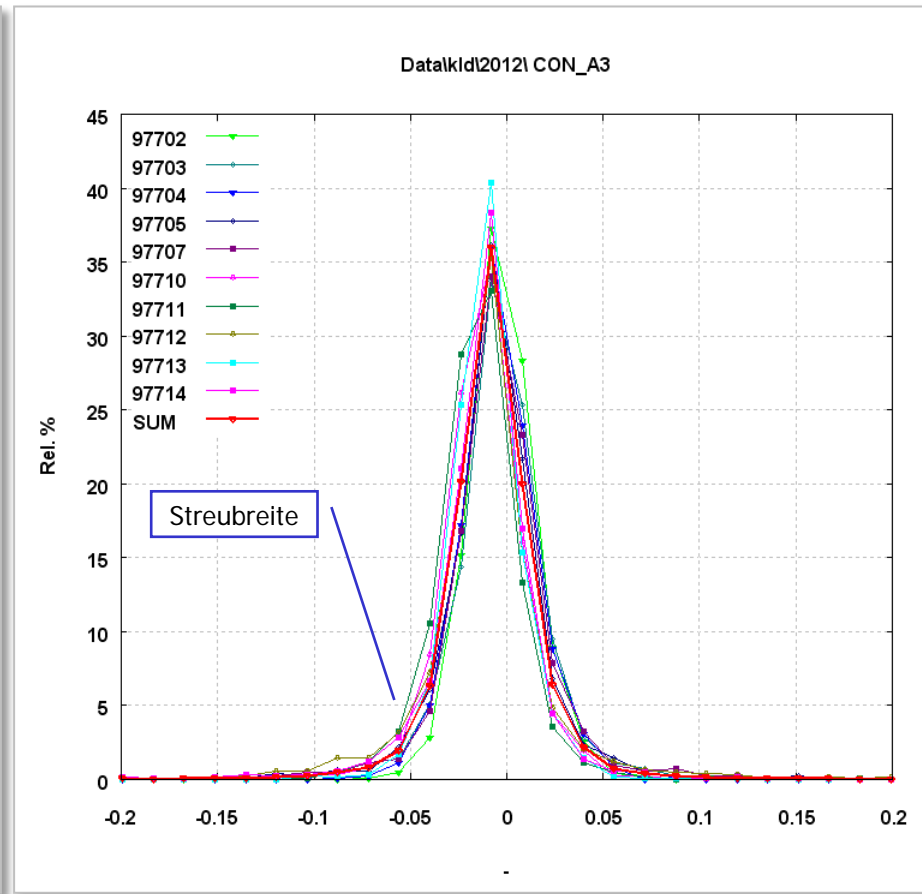
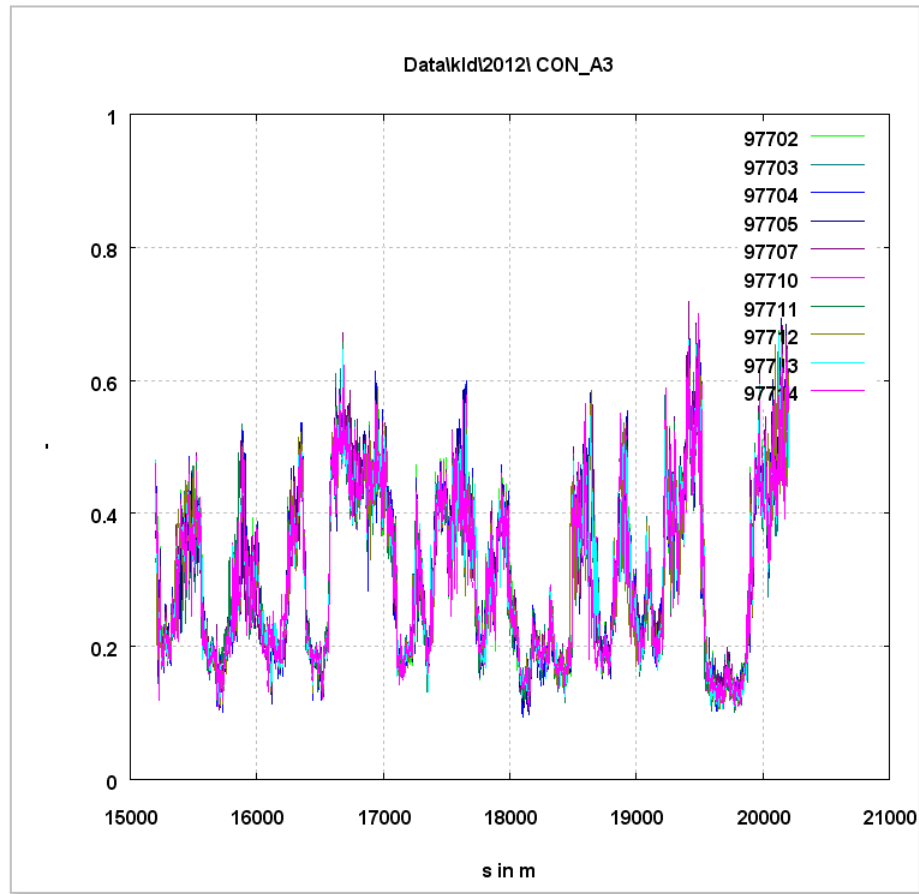
Konizität



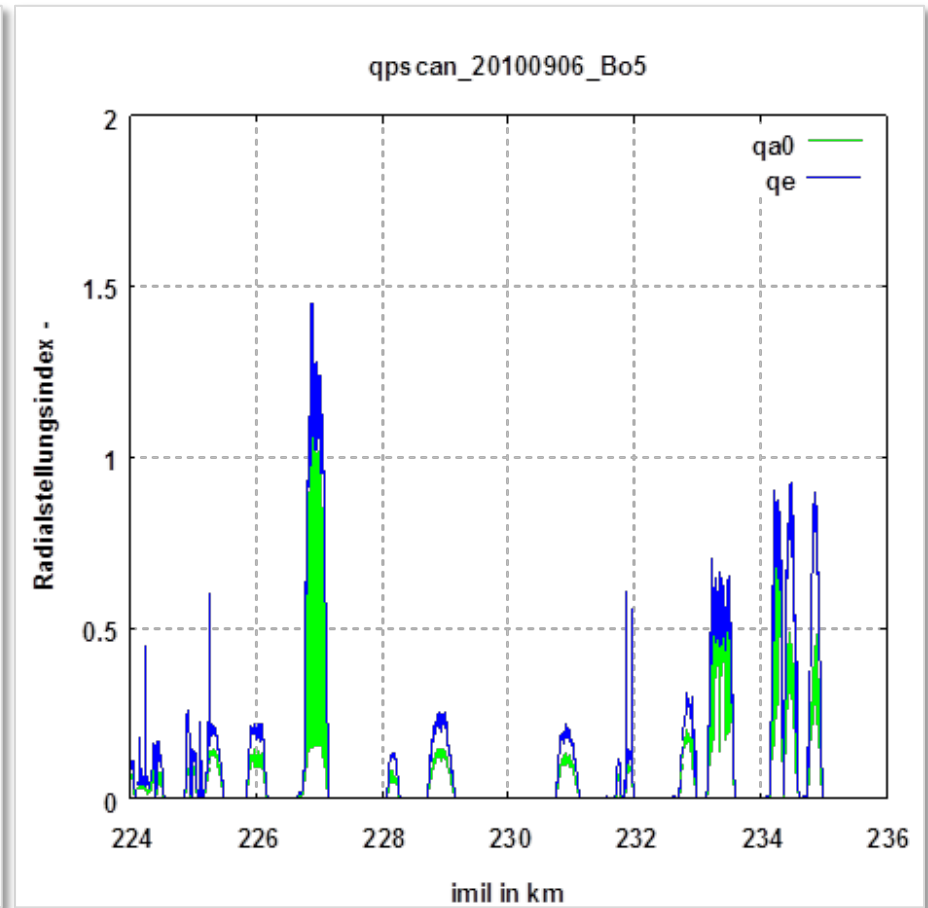
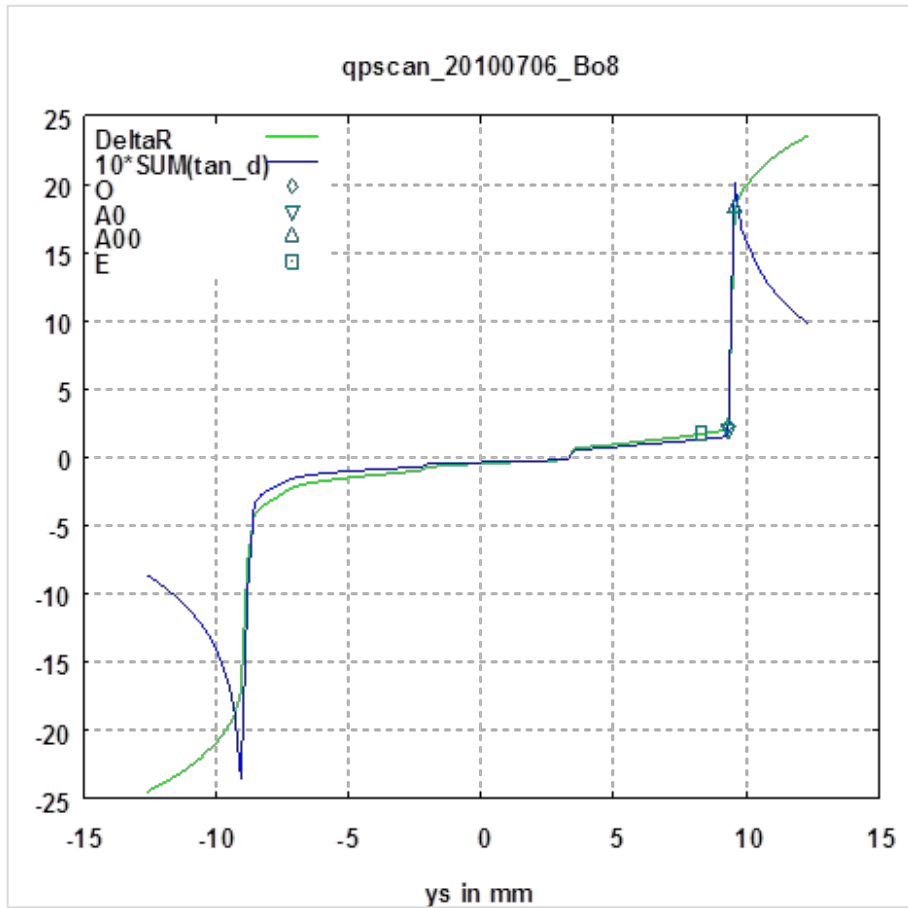
Gemessene Schienenprofile in einem Streckenabschnitt



Selbe Strecke, unterschiedliche Geschwindigkeiten und Fahrzeugorientierung



Kennwert des Bogenlaufes: Radialstellungsindex RSI



Spurführungskonzepte (Kraftschluss, Formschluss)

Konventioneller Radsatz

Einzelrad - Einzelfahrwerk

Detaillierte Beschreibung Rad – Schiene

Schienen/Radformfehler

Beurteilung der Wechselwirkung Fahrzeug/Fahrweg

Umfassende Messmethodik

Mittel (ortsfest, Messfahrzeuge, ...)

Methoden (mechanisch, optisch)

Ergebnisse (von Daten zu Informationen)

Simulationen und Modellbildung weit fortgeschritten

Normen (Berücksichtigung Dynamik, ...)

Ziele (Optimierung Achslast, Geschwindigkeit, Kosten,...)



Weit hinaus über die Grenzen der jeweiligen Erkenntnis und des jeweiligen Wissens liegen aber – nur verschleiert dem Auge der Phantasie erkennbar – die Grenzen des auf dem Gebiet der Technik Erreichbaren.

Karl Gölsdorf (1898)





Dr. Paul Mittermayr und Dr. Bernhard Barkow
Büro für angewandte Mechanik und Mathematik
Dr. Mittermayr Scientific Consulting GmbH

Danke für die Aufmerksamkeit!