



Rad/Schiene-Verschleiß und -Spannungen bei Fahrzeugen mit steifen und selbststeuernden Drehgestellen

W. Kik, ArgeCare, Templin

H. Scheffel, Railway Dynamic Systems CC, Pretoria

Gabriele Ferrarotti, Mauro Cavalletti, VI-grade, Marburg-Turin

1. Teil: Entwicklung der

- Verschleiß-Simulation, der
- Spannungsberechnung und der
- direkten Radsatzkopplung

2. Teil: Simulationsergebnisse verglichen eines Fahrzeugmodells mit Drehgestellen die:

- steif geführte oder
- direkt gekoppelt und relativ weich geführte Radsätze haben

Problem der Verschleiß-Simulation:

- Dynamik im Sekundenbereich
- Verschleiß Monate oder Jahre, hier 32Tkm

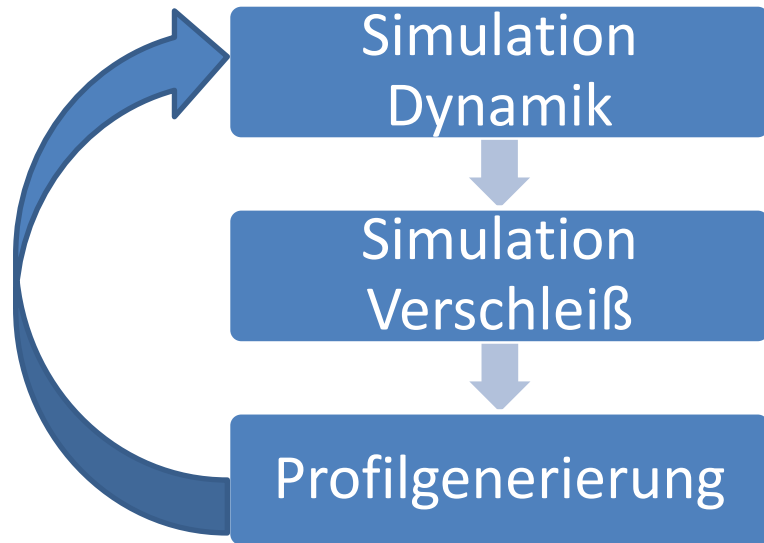


Aufgaben bei Verschleißsimulation

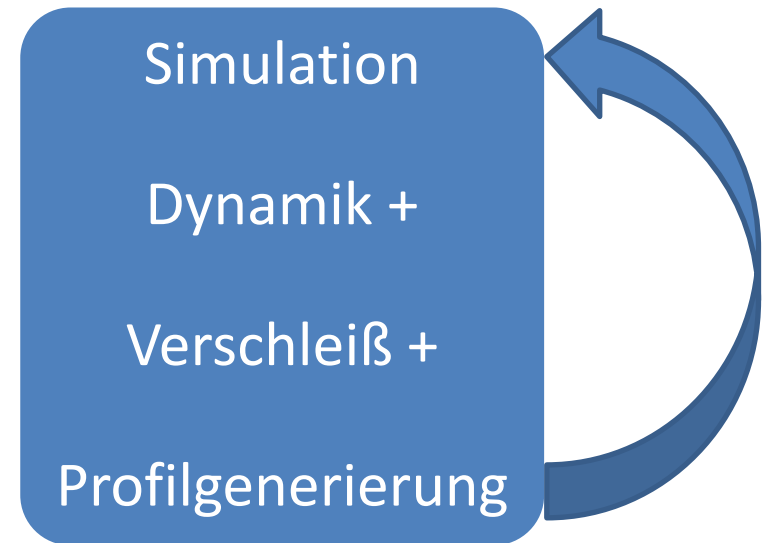
1. Organisation Simulation Dynamik / Verschleiß
2. Berechnung des Abtrags (abrasiven Verschleiß)
3. Generierung des Profils

Organisation Simulation Dynamik / Verschleiß:

Sequentielles Vorgehen

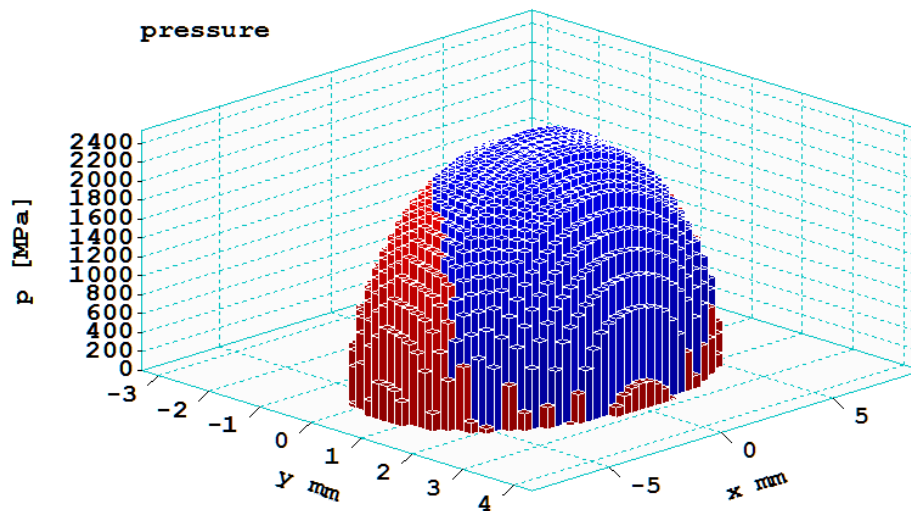


Paralleles Vorgehen



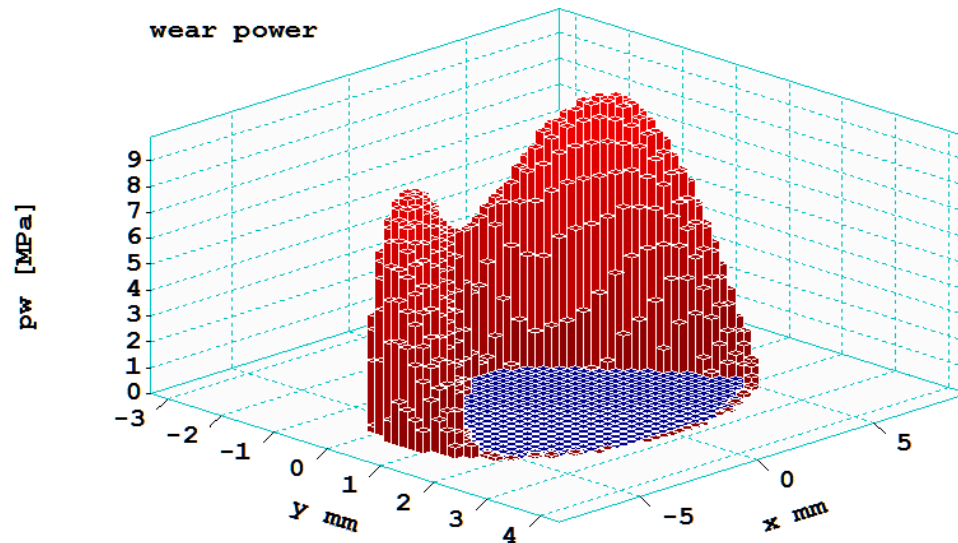
Abrasiver Verschleiss

- Abtrag als Funktion der Normalspannungsverteilung, Gleitlänge und Härte des Materials mit einem schlupfabhängigen Proportionalitätsfaktor



Abrasiver Verschleiss

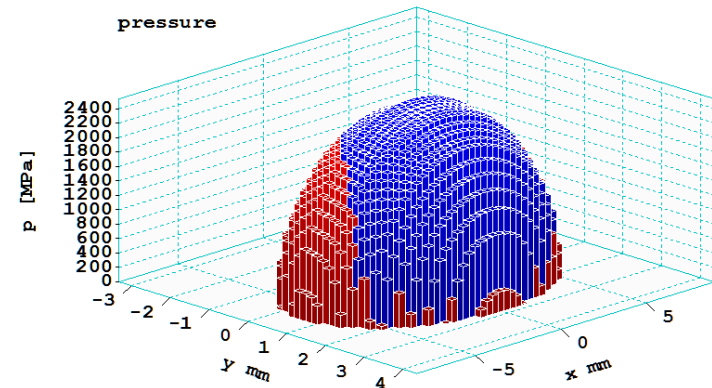
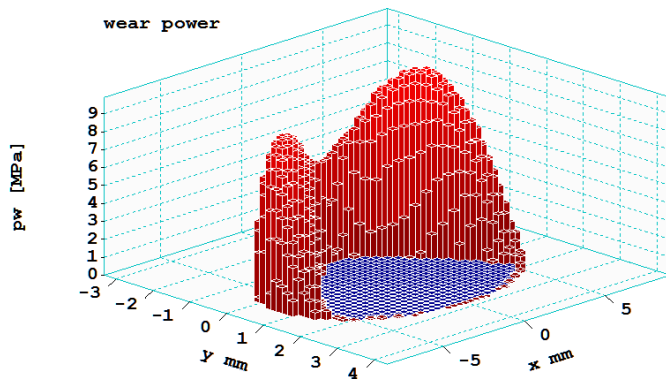
- Abtrag als Funktion der Reibarbeit und einem schlupfabhängigen Proportionalitätsfaktor formuliert als Funktion des Schlupfes mal Schlupfkraften.



Profilgenerierung / Verteilung des Abtrags

Proportional lokaler
Reibleistung

Normalspannung

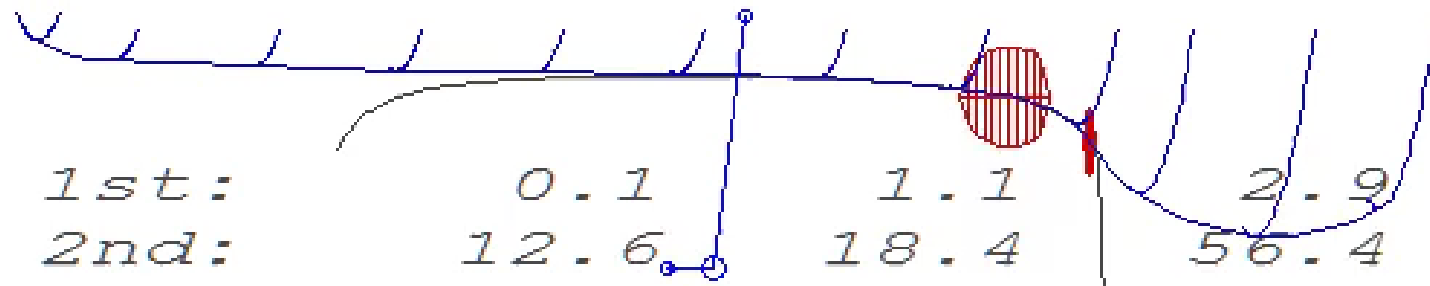


Echtzeit: → Sehr viele Simulationen

Beschleunigt: → Mulden - Glätten

MEDYNA / VI-Rail Verfahren

- Abtrag über Reibleistung
- Verteilung proportional extrapolierte Normalspannung

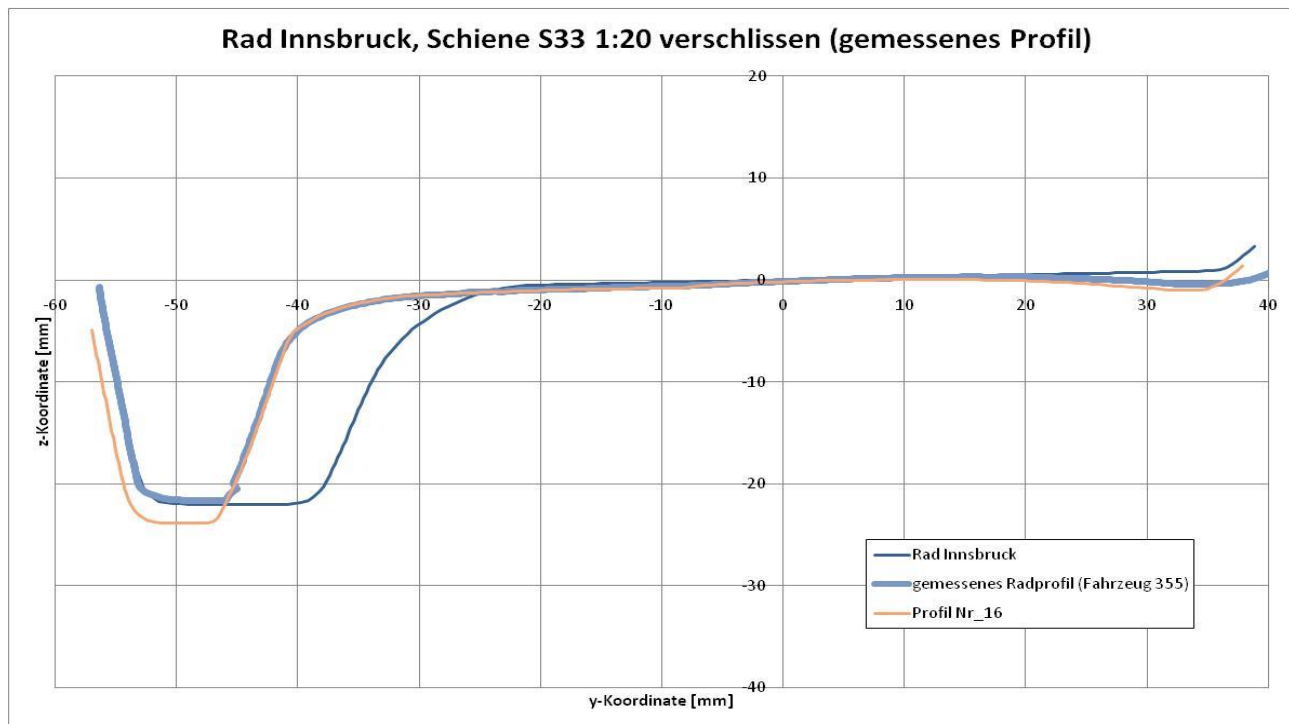


Video: [rad.mp4](#)

Keine Glättung notwendig

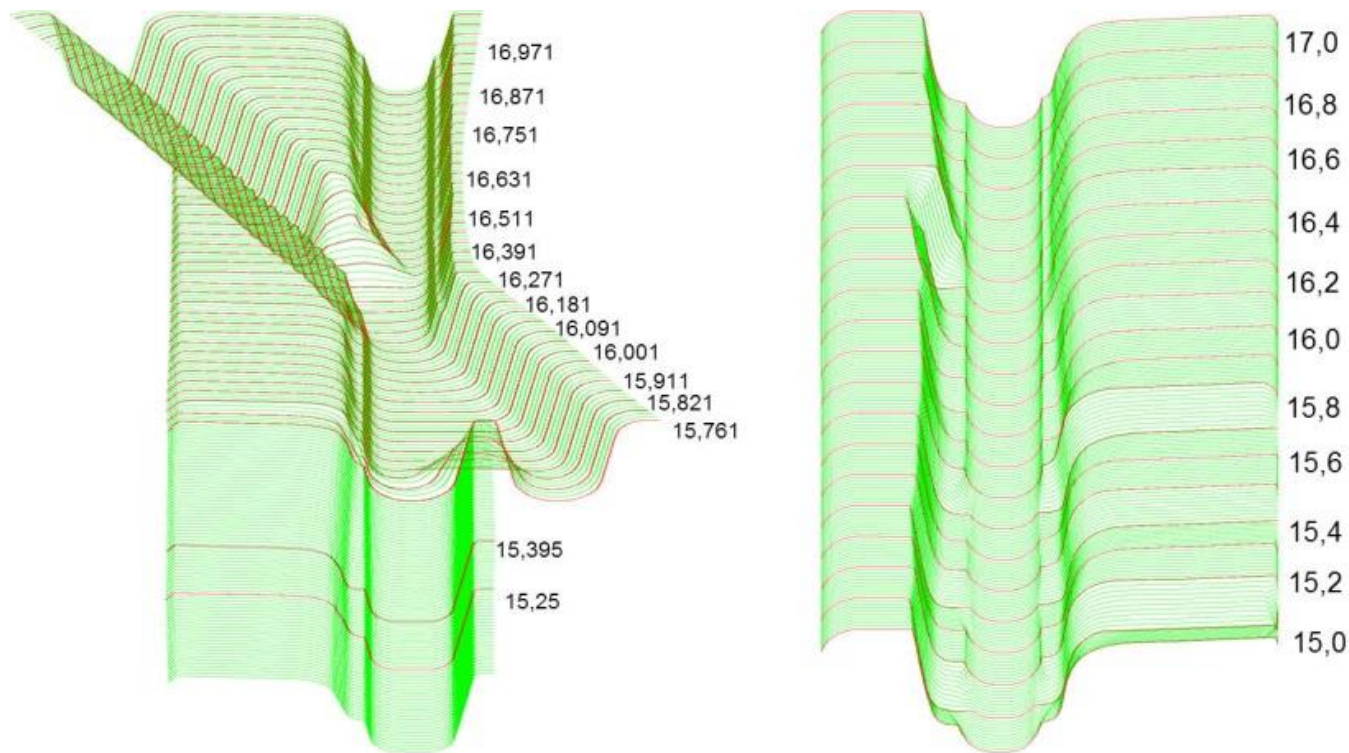
Verifizierung

- Beispiel: Verschleißsimulation Dr. Dédé (Bombardier Transportation GmbH, Netphen)



Extrapolationsverfahren:

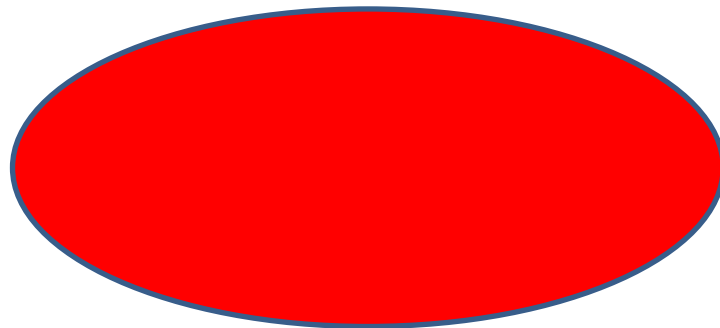
Verschleißsimulation von Weichenschienen



Spannungsberechnung / Kontaktermittlung

Verfahren 1:

- Kontakt als Zwangsbedingung
Aus Zwangskraft -> Kontaktfläche
- Kontaktform aus Profilkrümmungen
-> Kontaktellipsen

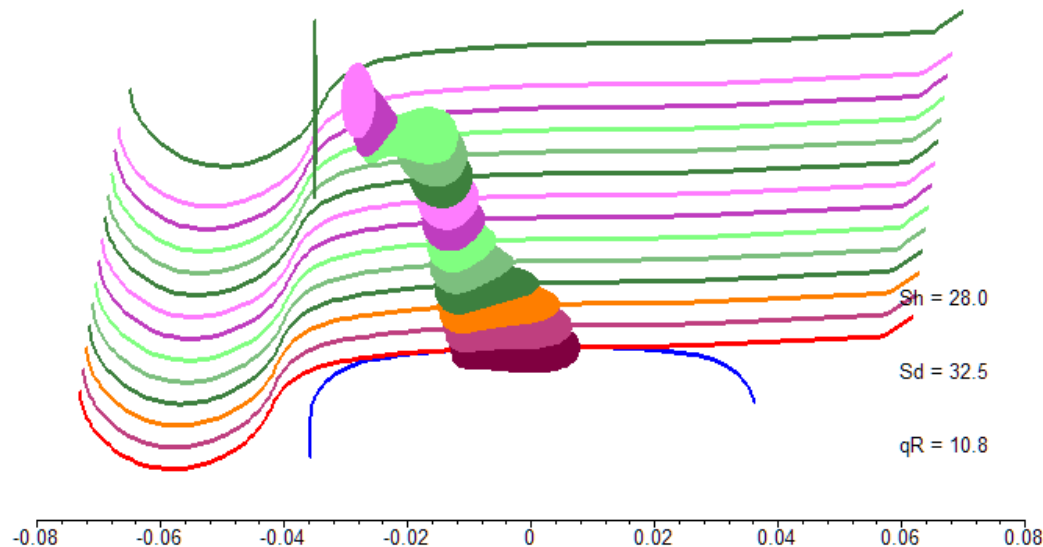


schnell, kein Mehrpunktkontakt

Spannungsberechnung / Kontaktermittlung

Verfahren 2:

- Kontaktfläche und Normalkraft aus Durchdringung der starren Profile
-> beliebige Kontaktflächen

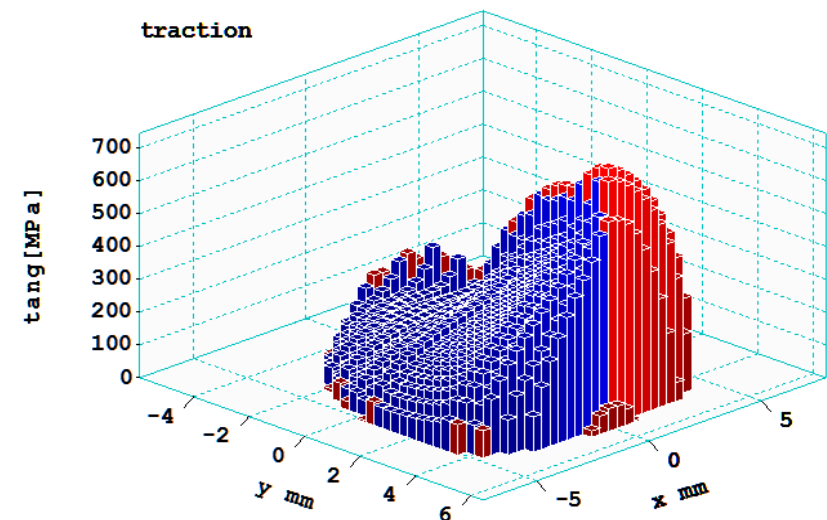
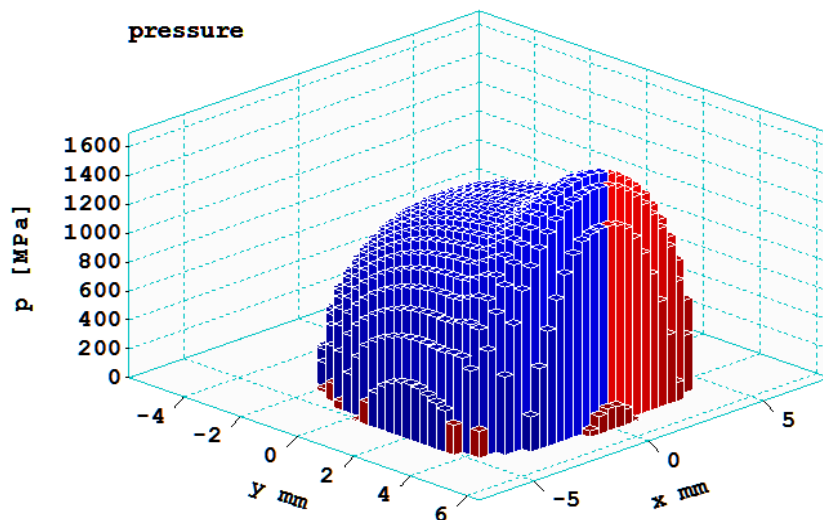


aufwendiger, Mehrpunktkontakt

Spannungsberechnung / Kontaktermittlung

Verfahren 3: „exakte“ Methode, BEM-Verfahren

- Kontaktfläche aus Durchdringung der starren Profile oder
- Durchdringung aus Normalkraft
-> beliebige Kontaktfläche



„exakte“ Methode, zu aufwendig für Simulation

Direkte Radsatzkopplung

- Ende der 60ziger Jahre in Südafrika aus Bissel-Lenkradsatz entwickelt

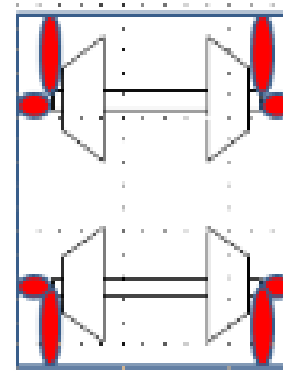


Gegenargument:

- Antiradiale Steuerung bei Überhöhungsfehlbedarf und sehr engen Bögen

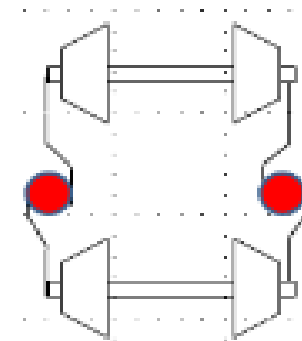
Vergleich der Verschleiß- und Spannungssimulation eines Fahrzeugmodells mit Drehgestellen deren Radsätze

steif geführt

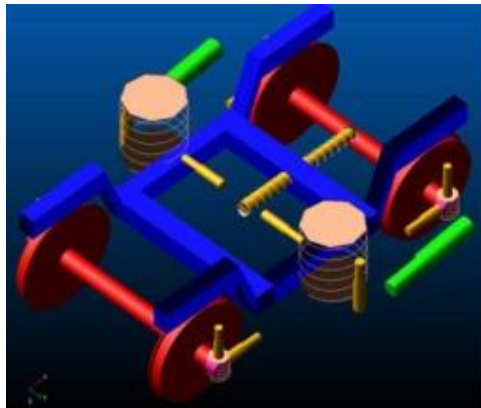
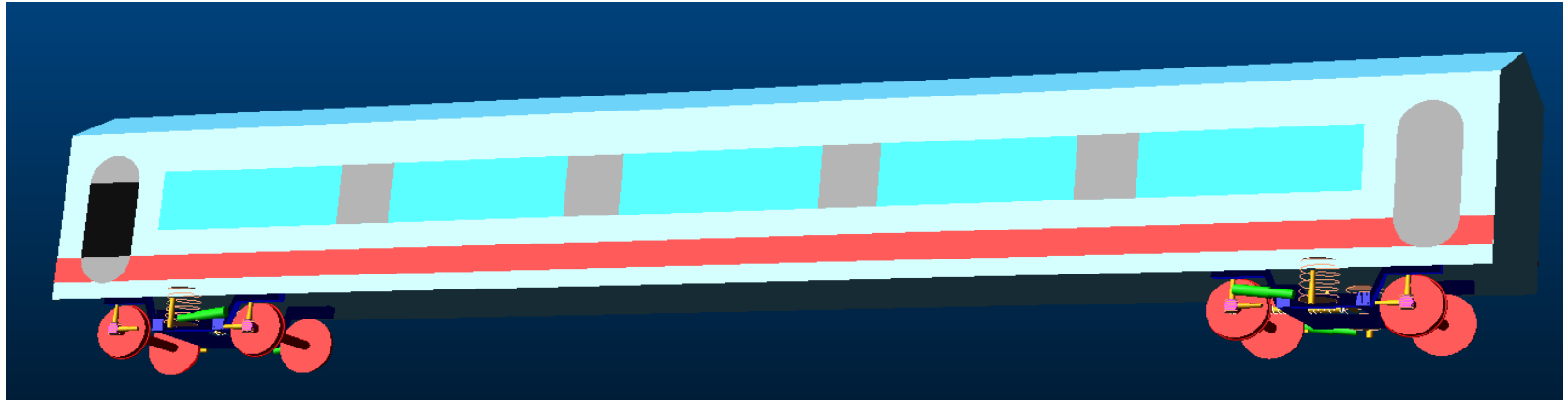


oder

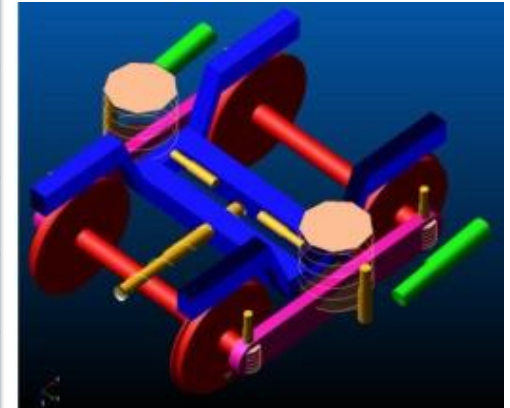
direkt gekoppelt und
relativ weich geführt



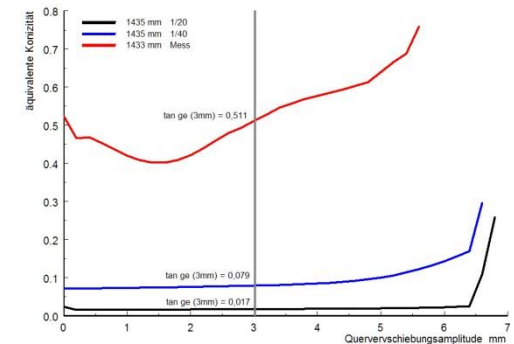
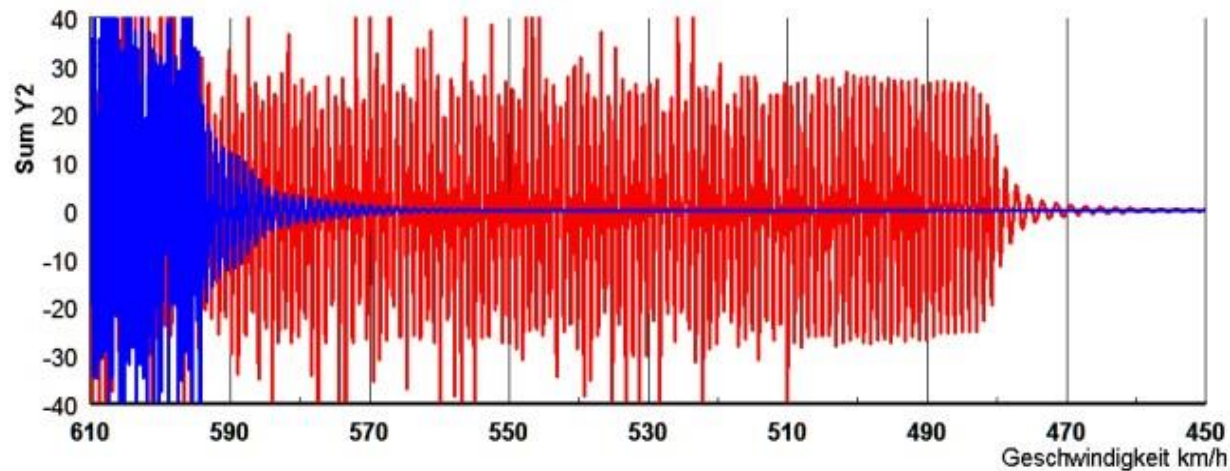
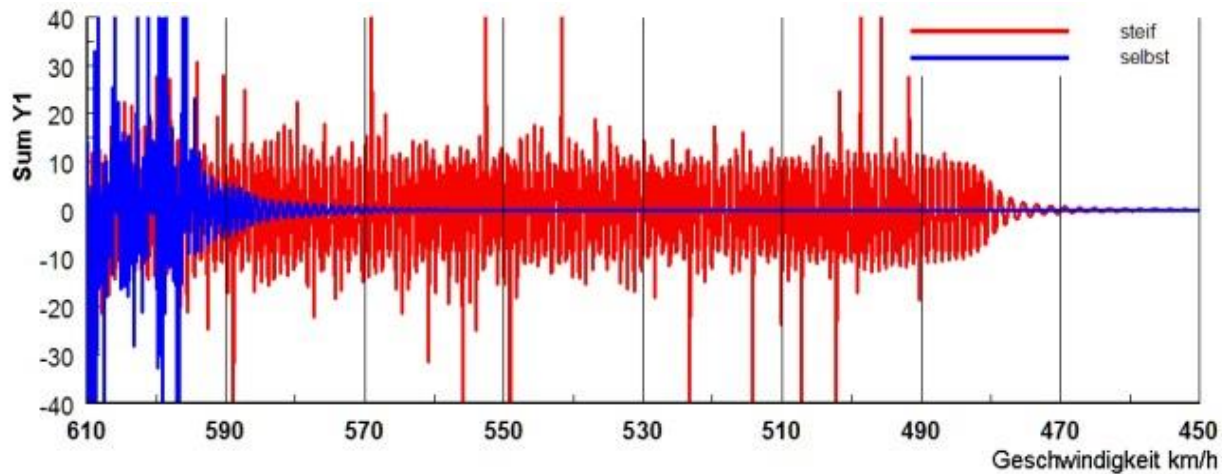
Fahrzeugmodell / Drehgestelle



steif	Parameter	selbst
2,56	Radsatzabstand m	1,8
400	Schlingerdämpfer c_s kNs/m	85
31,4	Primärfeder k_x kN/m	3,8
3,2	Primärfeder k_y kN/m	0,8
15; 2	Primärdämpfer $c_x; c_y$	-



Stabilität: Profilpaarung $\tan \gamma_e / 3\text{mm} = 0,079$

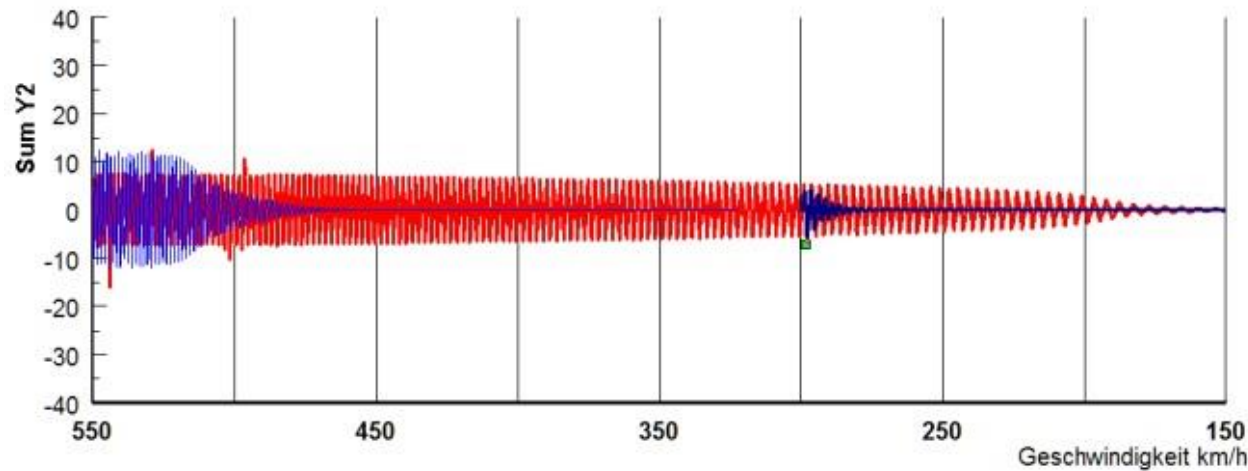
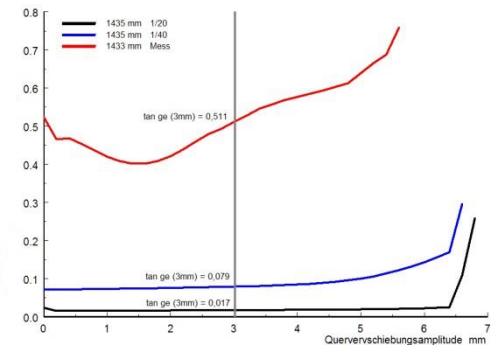
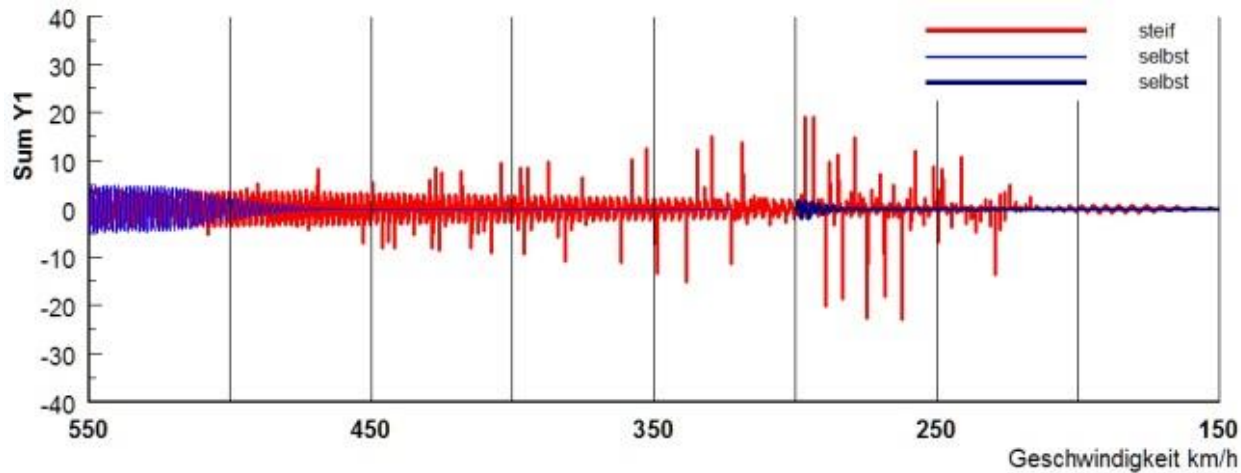


Blaue Konizitätsfunktion

$V_{\text{grenz}} \approx 470 \text{ km/h}$

$V_{\text{grenz}} \approx 560 \text{ km/h}$

Stabilität: Profilpaarung $\tan \gamma_e / 3\text{mm} = 0,017$

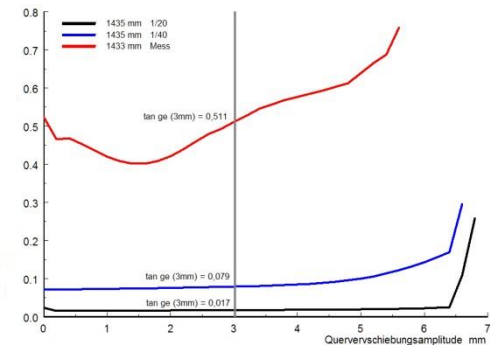
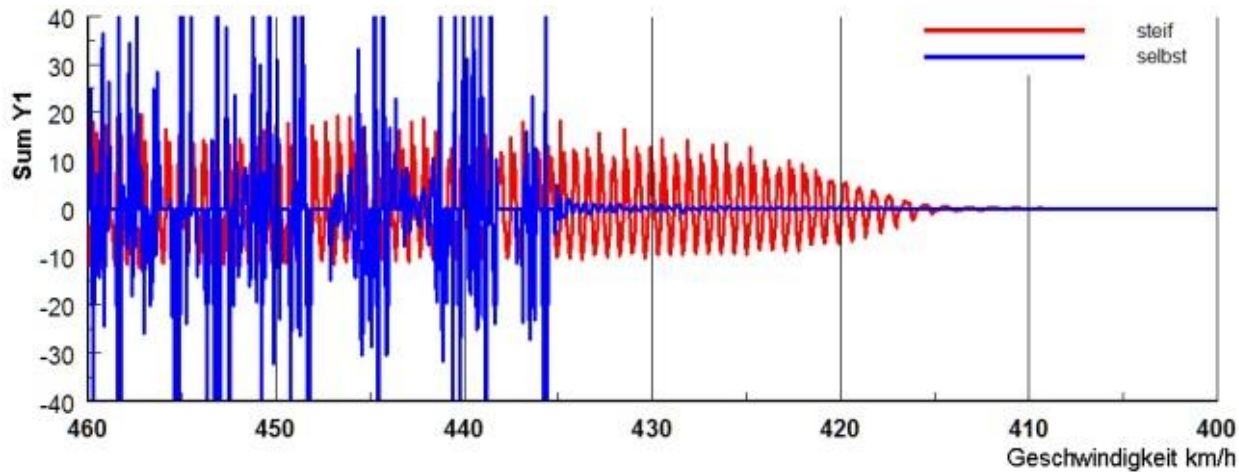


schwarze
Konizitätsfunktion

$V_{\text{grenz}} \approx 160 \text{ km/h}$

$V_{\text{grenz}} \approx 460 \text{ km/h}$

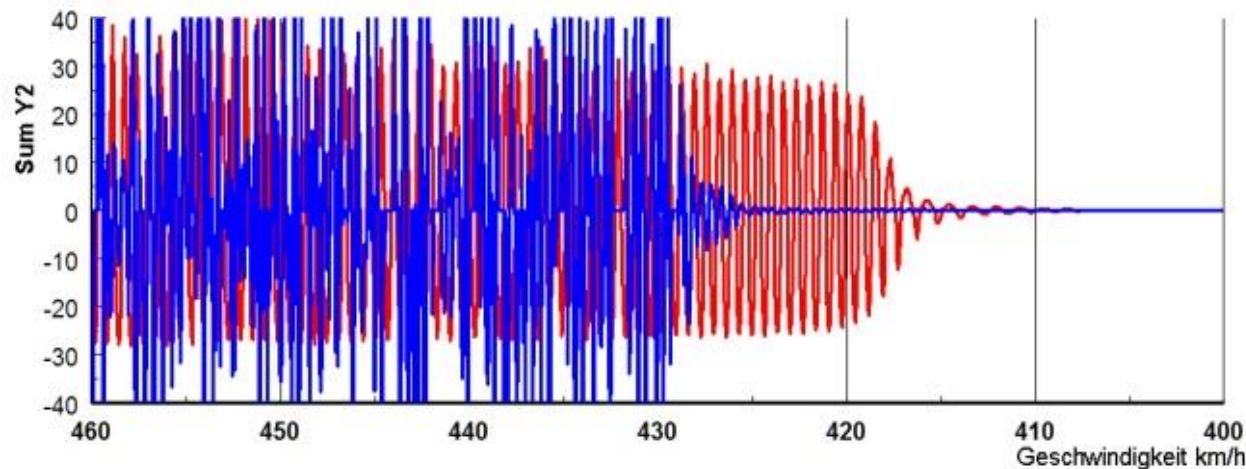
Stabilität: Profilpaarung $\tan \gamma_e / 3\text{mm} = 0,511$



Rote Konizitätsfunktion

$V_{\text{grenz}} \approx 415 \text{ km/h}$

$V_{\text{grenz}} \approx 425 \text{ km/h}$

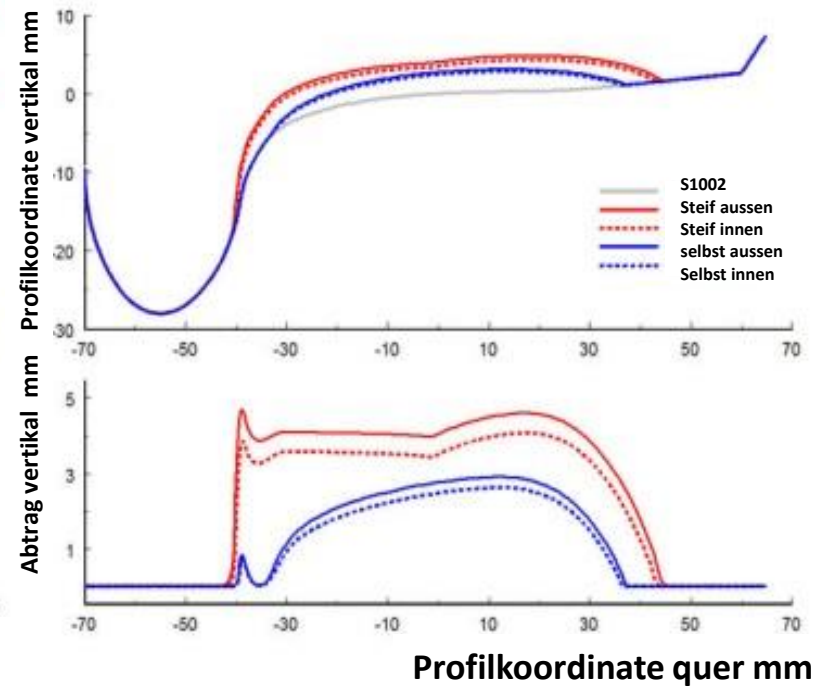
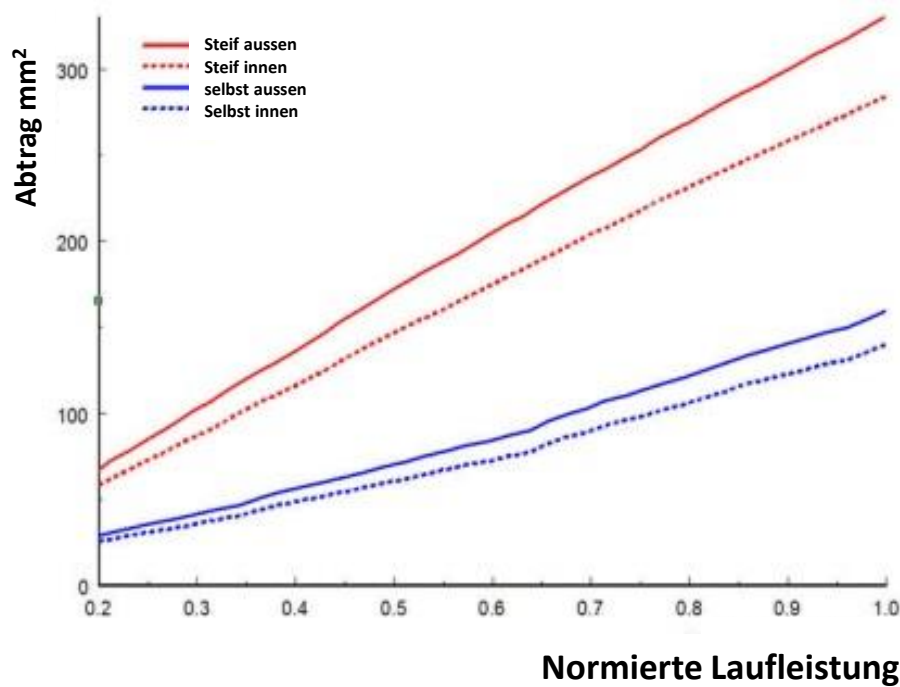
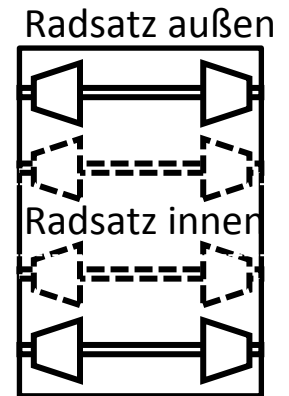


Verschleißsimulation: Lastfälle

Fall	Radius in m	Überhö- ung in mm	unausgeglichene Querbeschleuni- gung in m/s^2	Fahrgeschwindig- keit in km/h	Spurweite in mm
1	2 400	92	0,8	209	1435
2	900	150	0,8	144	1435
3a	350	150	0,8	90	1445
3b	350	150	-0,8	29	1445
4	190	0	0,8	44	1455
5	60	0	0,8	29	1455

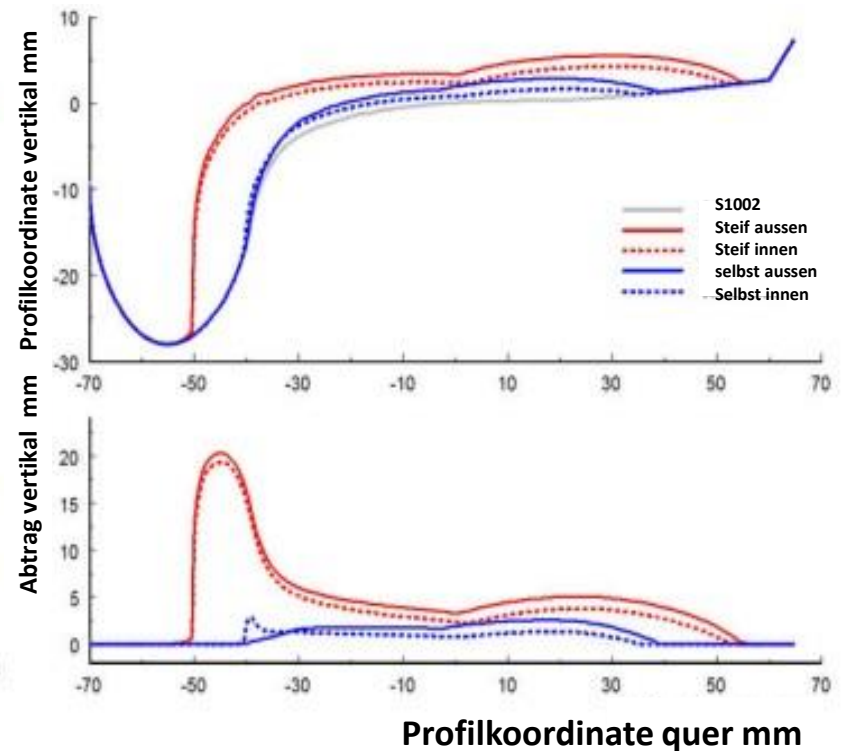
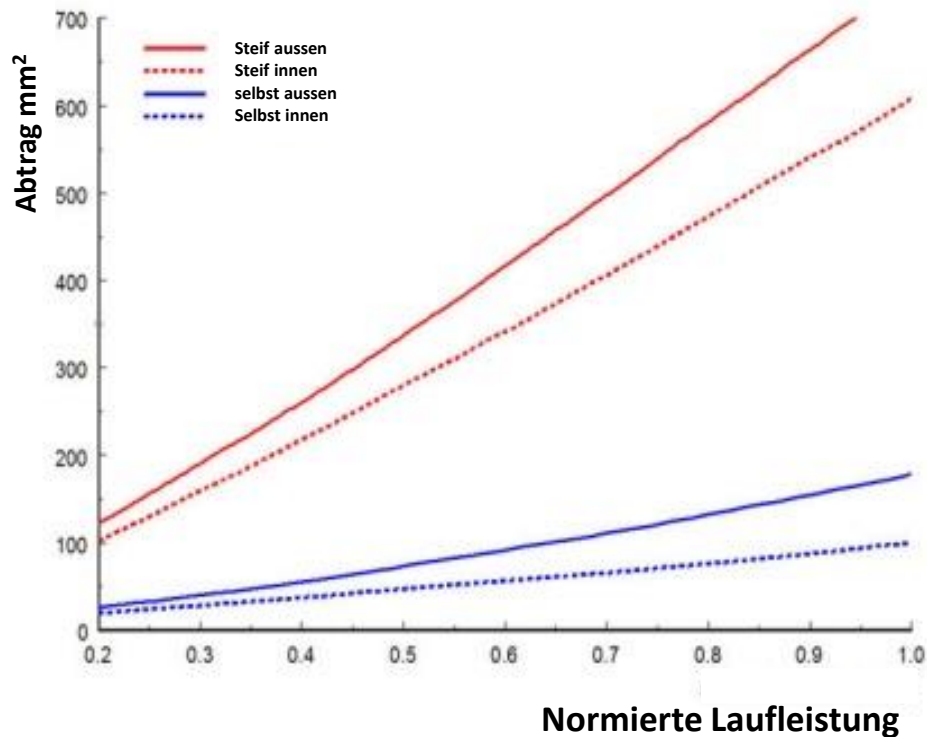
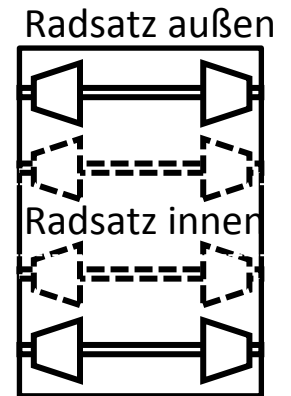
Verschleissimulation: Lastfall 1

Bogenradius 2400 m, $a_q = 0,8 \text{ m/s}^2$, Spurweite 1435 mm



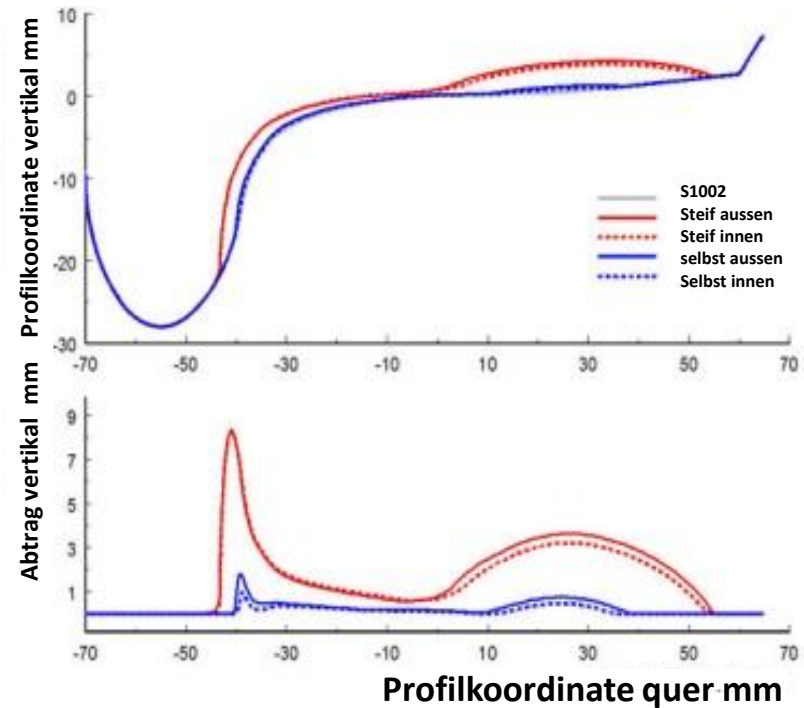
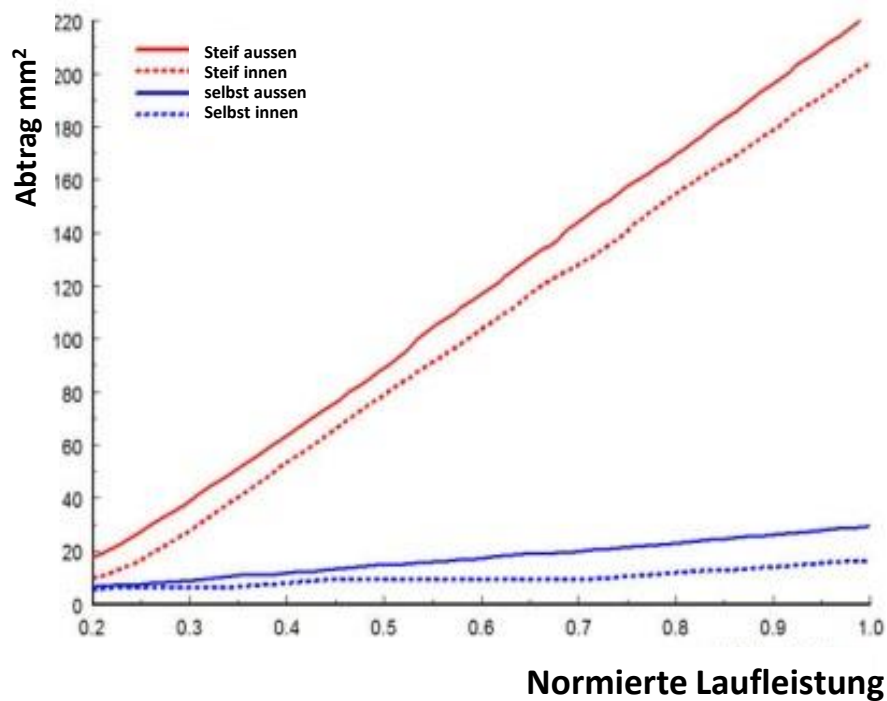
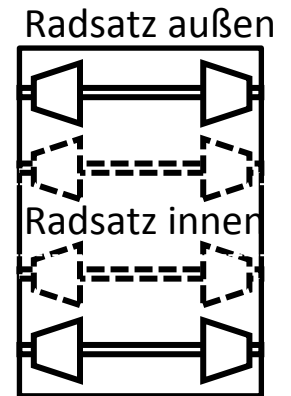
Verschleissimulation: Lastfall 2

Bogenradius 900 m, $a_q = 0,8 \text{ m/s}^2$, Spurweite 1435 mm



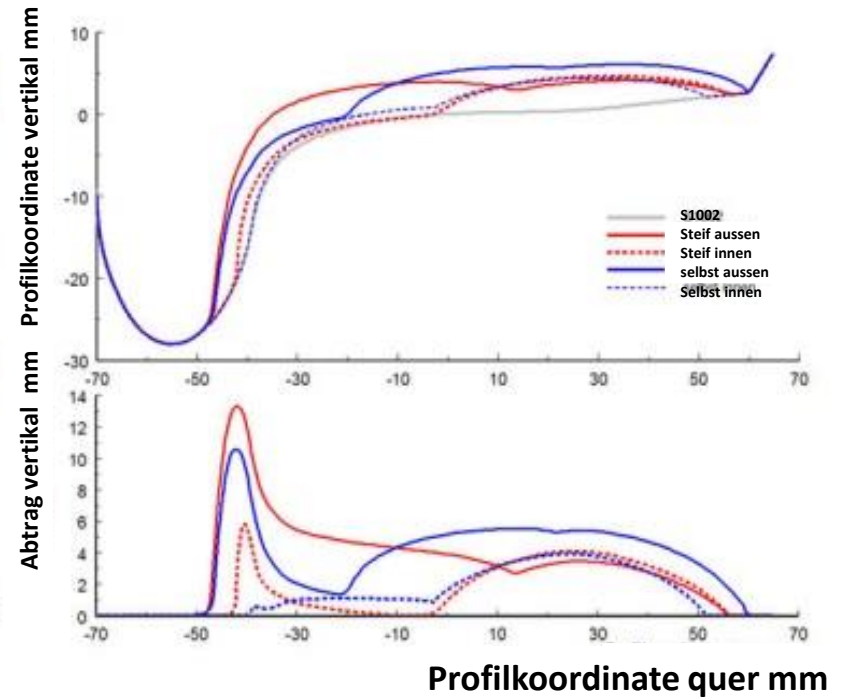
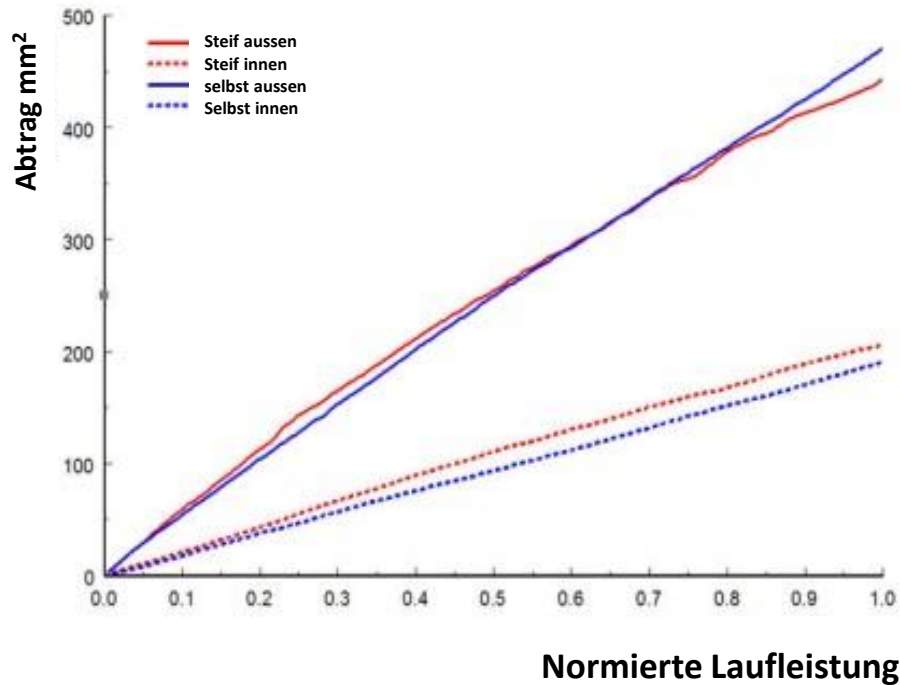
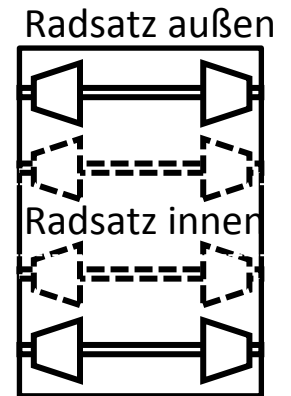
Verschleissimulation: Lastfall 3b

Bogenradius 350 m, $a_q = -0,8 \text{ m/s}^2$, Spurweite 1445 mm

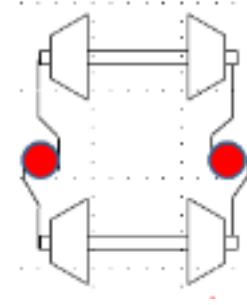
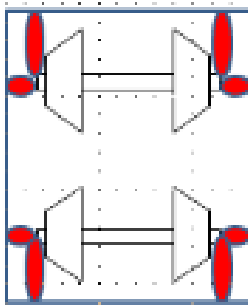


Verschleissimulation: Lastfall 5

Bogenradius 60 m , $a_q = 0,8 \text{ m/s}^2$, Spurweite 1455 mm

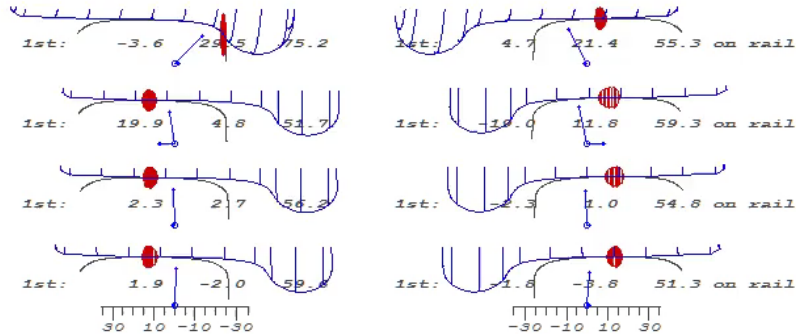


Bogenradius 60 m



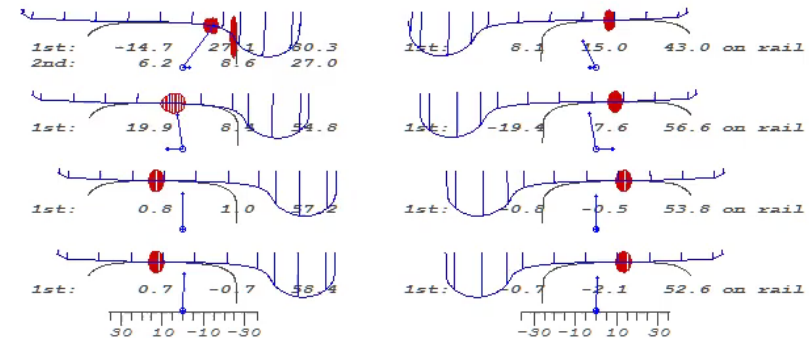
MOD9009

Distance= 2.6960E+01m, time= 3.37s, v= 29km/h



MOD9109

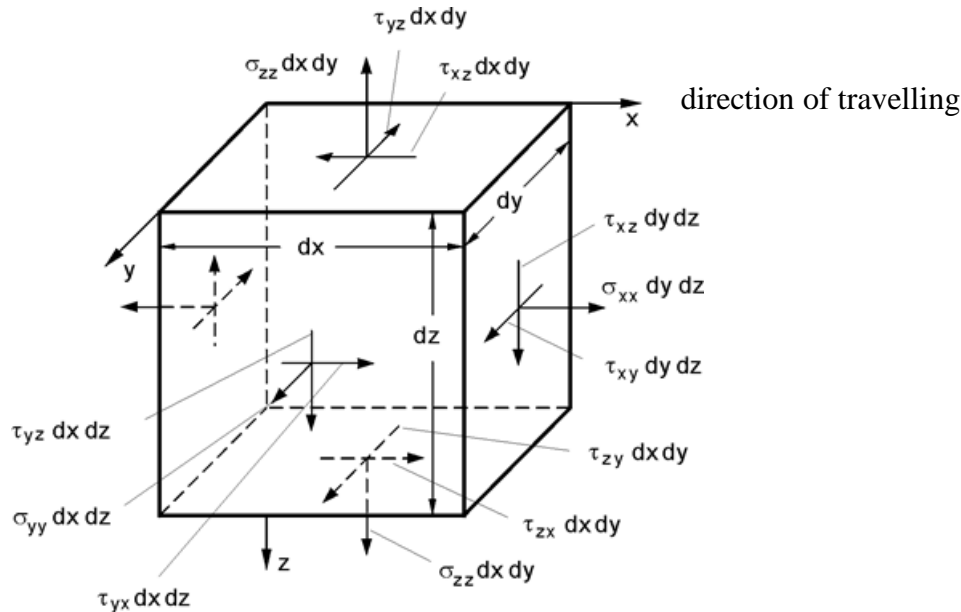
Distance= 2.3600E+01m, time= 2.95s, v= 29km/h



Video: [Bogen 60 m steif-selbst.mp4](#)

Spurweite 1455 mm

Spannungsberechnung



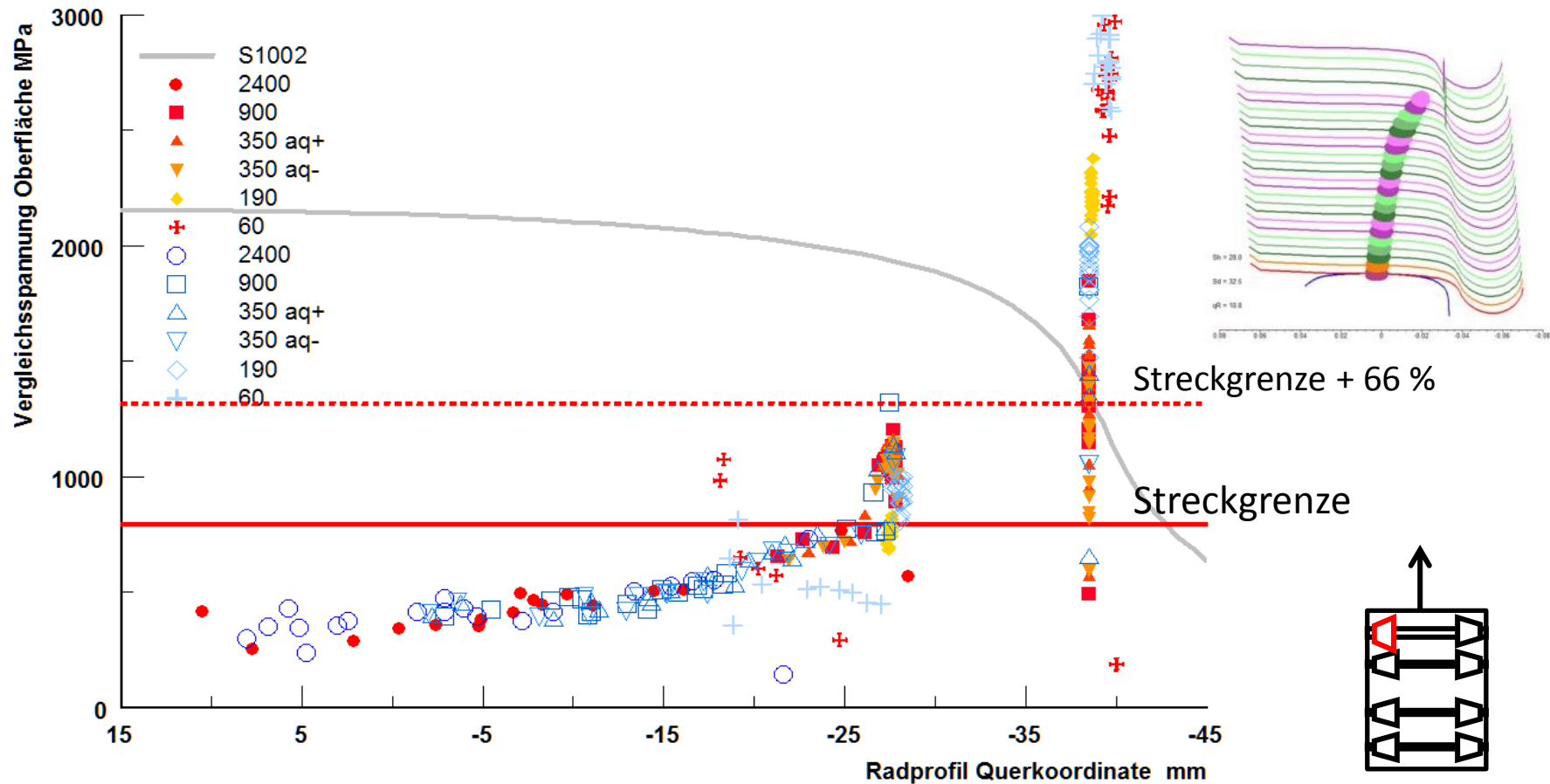
Äquivalente Spannung σ_v nach von Mises

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2] + 3[\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2]}$$

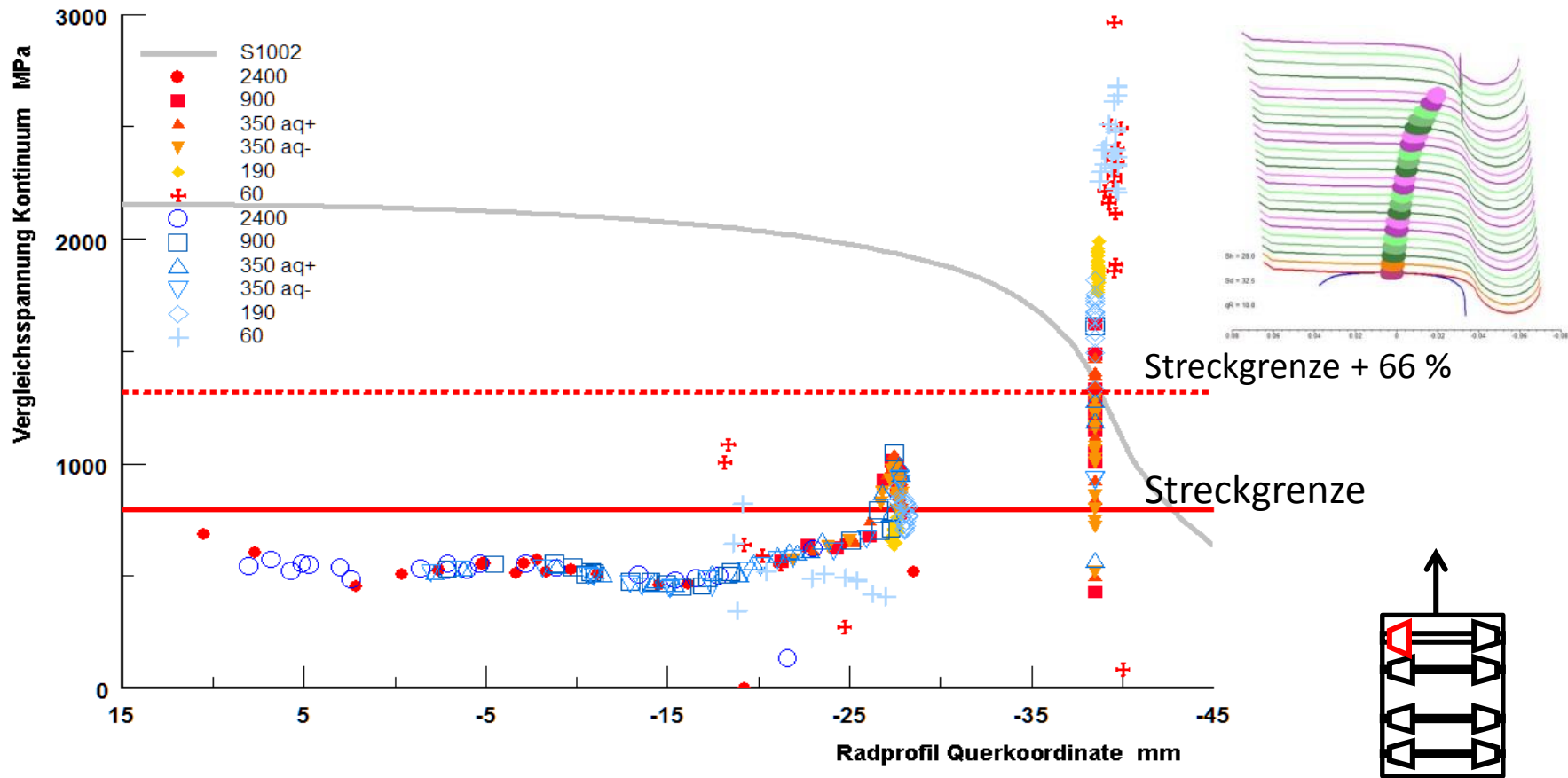
Spannungsberechnung

Lastfall Bogenradius	a_q m/s ²	Grenze Übergangs- bogen - konstanter Bogen m	Wegstrecke Anfang - Ende Ausgabe m	Inkrement m
1 – 2 400 m	0,52	200	180 - 280	5
2 – 900 m	0,8	130	110 - 210	5
3 – 350 m	±0,8	100	90 - 130	2
4 – 190 m	0,8	50	40 - 80	2
5 – 60 m	0,8	50	40 - 80	2

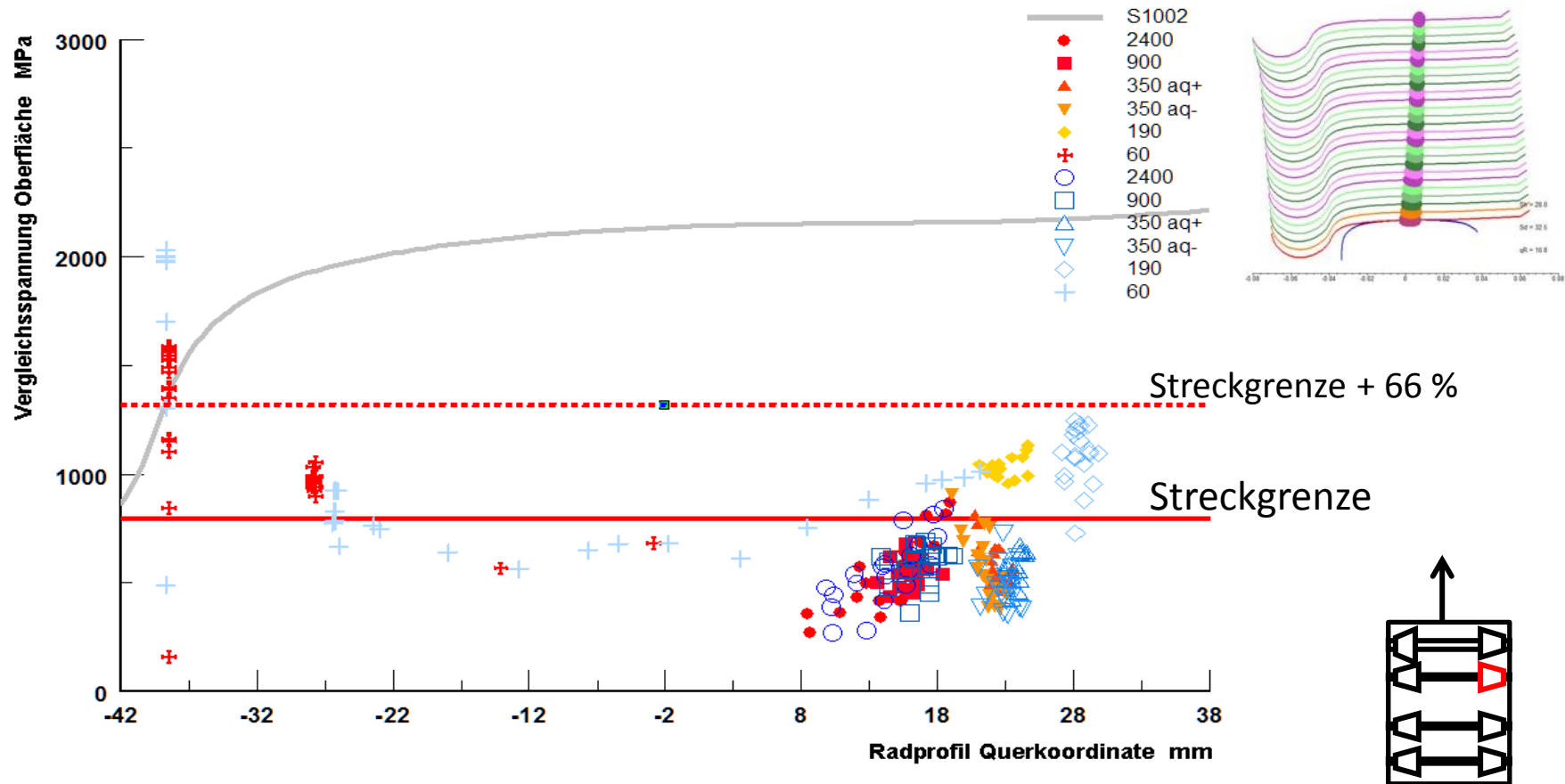
Spannungsberechnung / Oberfläche



Spannungsberechnung / Kontinuum

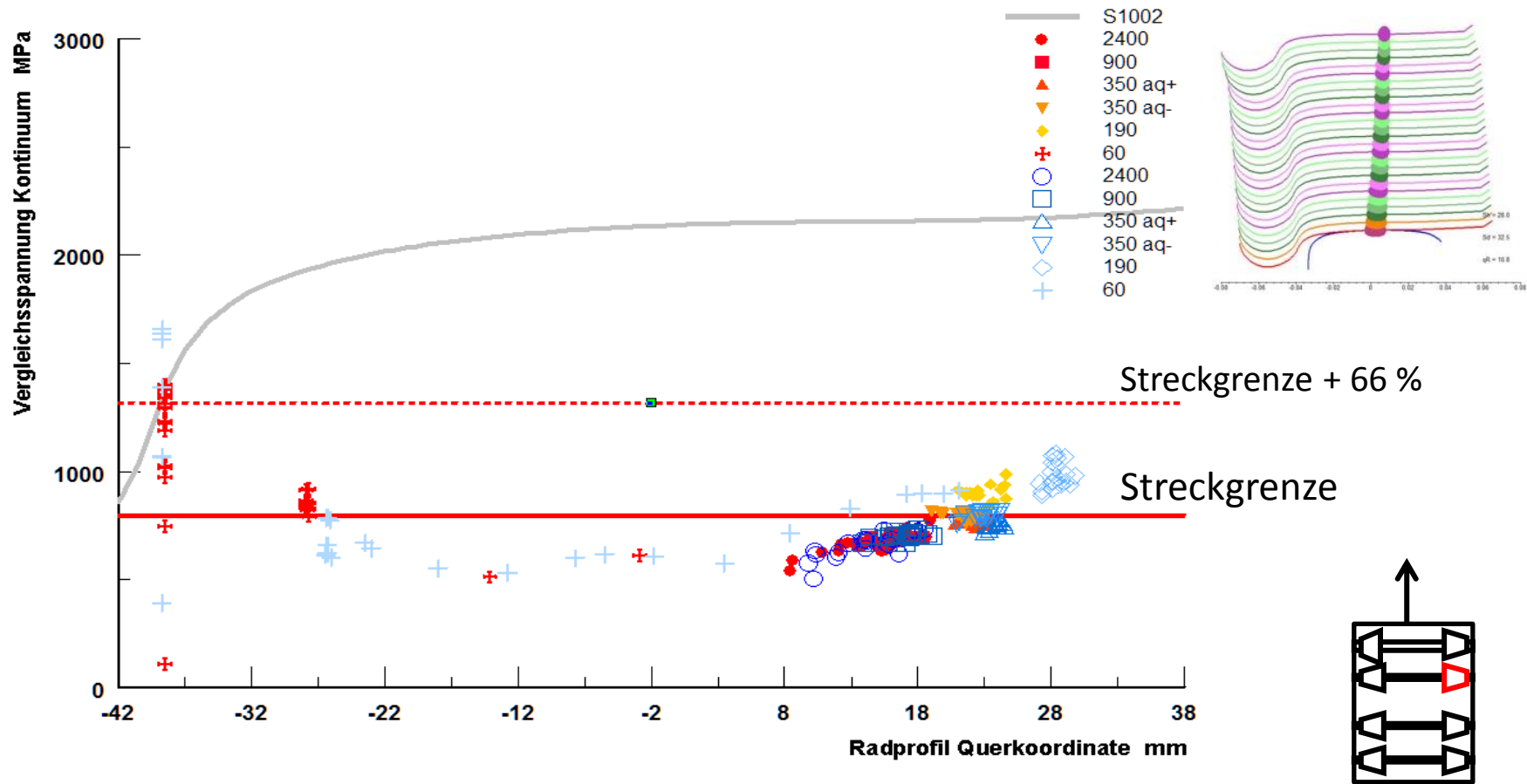


Spannungsberechnung / Oberfläche



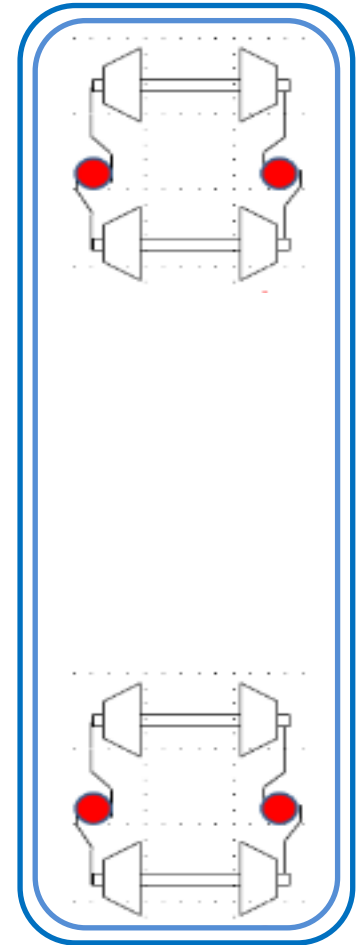
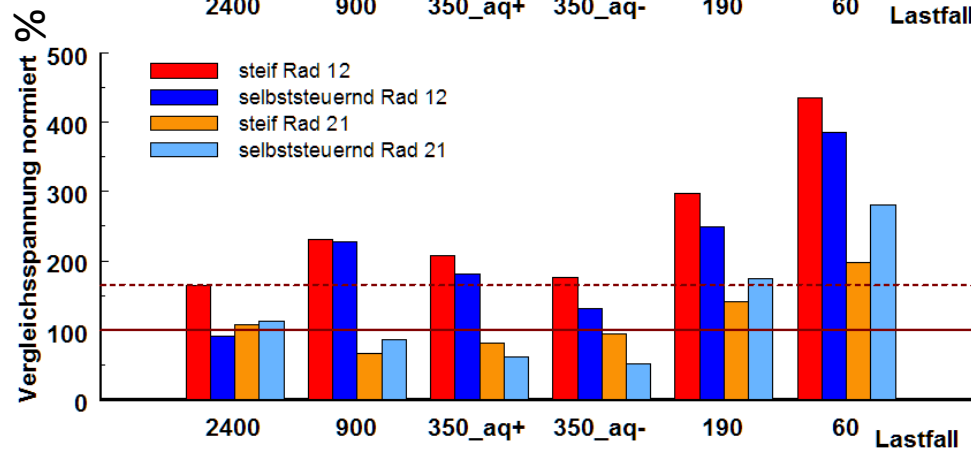
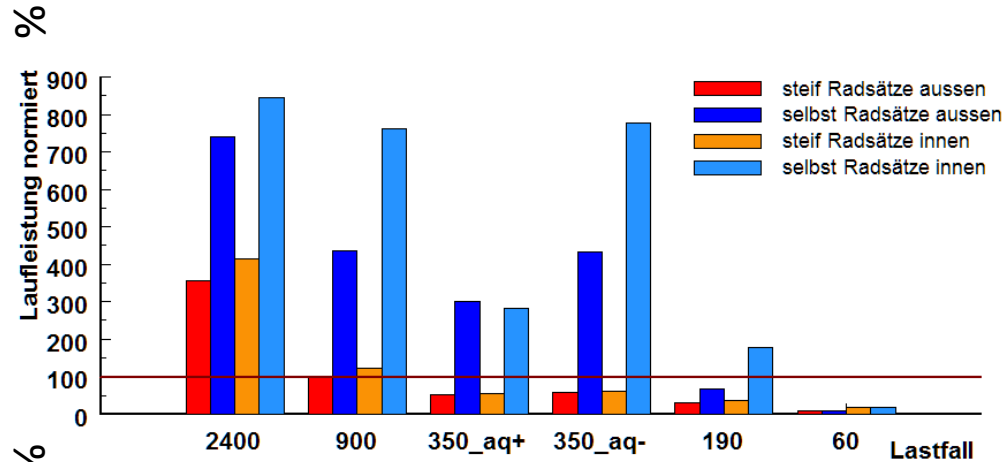
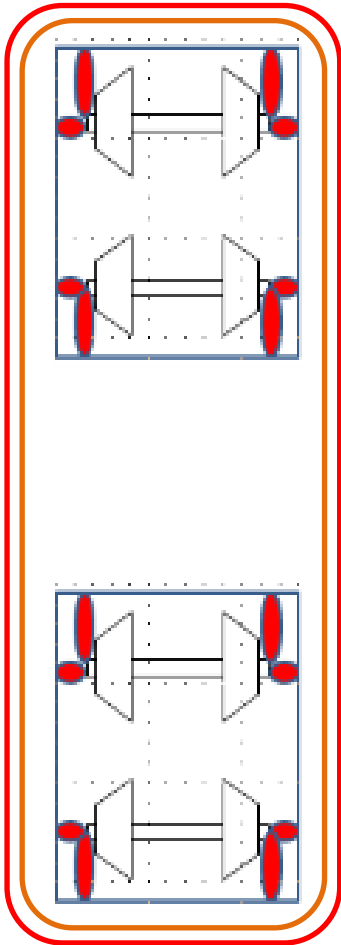
Nachlaufendes Rad innen

Spannungsberechnung / Kontinuum



Nachlaufendes Rad innen

Zusammenfassung



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

