

BMBF-Projekt Innorad

Projektkonsortium:

Hr. H. Nowitzki
Dr. rer. nat. G. Rückner
Dipl.- Ing. C. Vorwerk

FFZ-Hersteller



Forschungsinstitute



Räderhersteller



Kunststoffhersteller

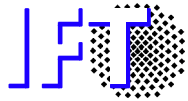


Bayer MaterialScience

Anwender



BOSCH



AGENDA

- **Ausgangssituation, Stand der Technik**
- **FEM - thermo-mechanische Beanspruchung der Räder**
- **Optimierung von Konstruktionen, Werkstoffen, Fertigungsverfahren**
- **Systematische Konstruktion eines Laborprüfstandes**
- **Optimierung und Verifikation**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Ausgangssituation

Immer weiter verschärfte Belastungen führen zu verkürzten Standzeiten der Räder von wenigen Monaten oder sogar Wochen.

Ursachen

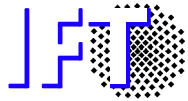
- **Abrollverschleiß**
- **Abrieb** durch Schubbelastung aus der Reibpaarung Rad/Boden
- **Thermische Überlastung** durch hohe Walkarbeit, infolge hoher Fahr- und Lenkgeschwindigkeiten
- **Radversagen** durch schlagartig auftretende Stöße (bis 50g)



Anforderungen

- sehr hohe **Radaufstandskräfte**
- sehr hohe **Seitenführungskräfte**
- sehr hohe **Umfangskräfte** beim Antreiben und Bremsen
- Sehr hohe **Lenkmomente** und **-geschwindigkeiten**





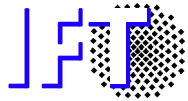
Zielsetzung

Die **Lebensdauer** des Basiselements Rad/Laufrolle unter Beibehaltung der Produktionskosten um **mindestens 20 % zu verlängern**.

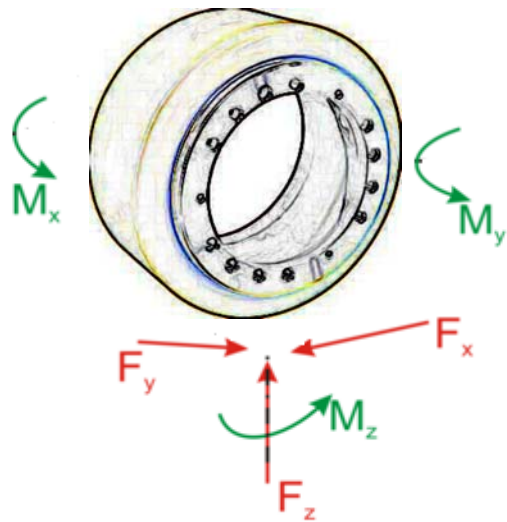
Entwicklung von reproduzierbaren:
**Auslegungs-,
Berechnungs- und,
Testverfahren**

Bestehende Zielkonflikte:
Lebensdauer Rad / Boden
Traktion
Schonung Boden
Fahrkomfort





Objekt der Untersuchung: Vulkollanräder®



Einsatzgebiet: Indoor-FFZ



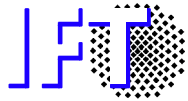
typische Hindernisse



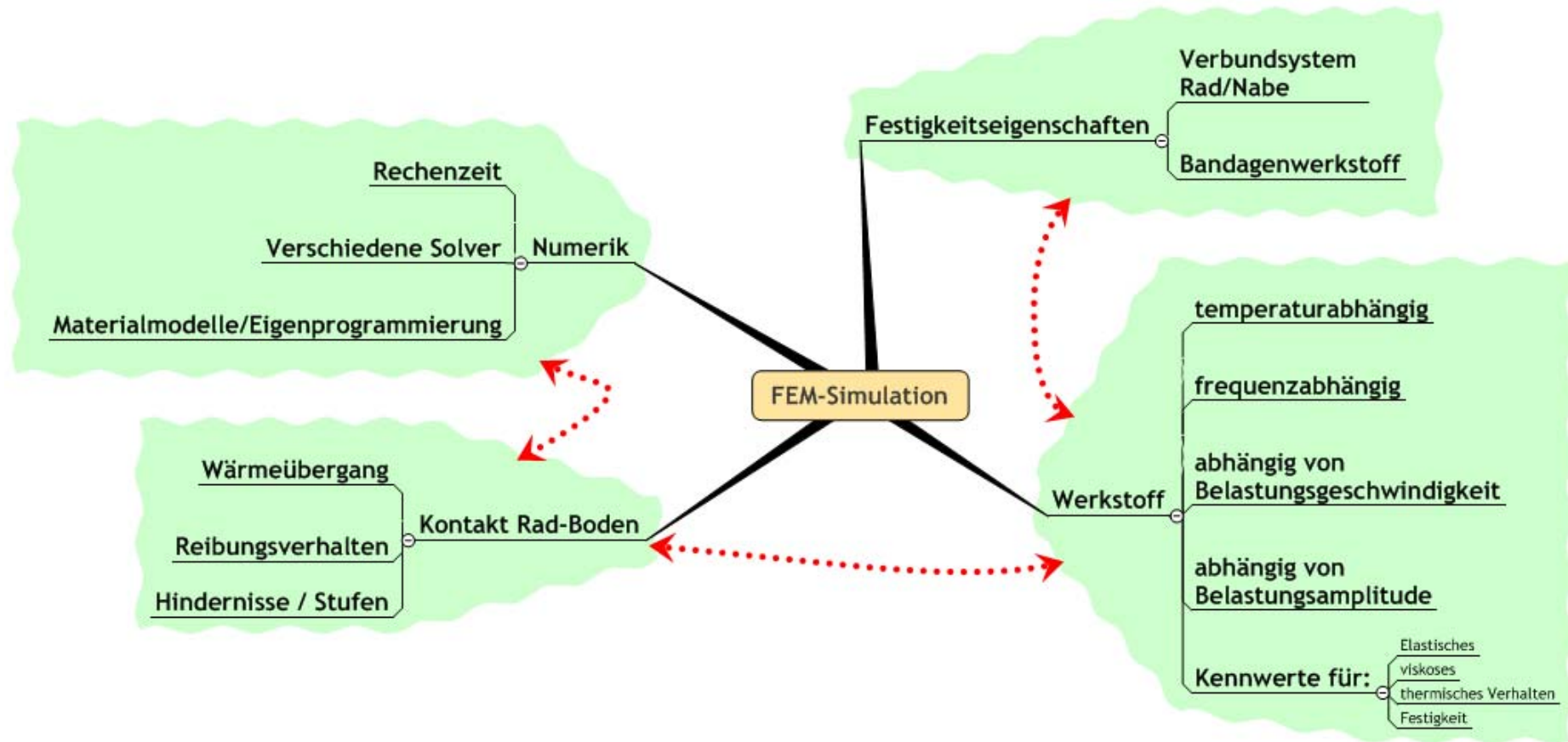
Blumenkohleffekt

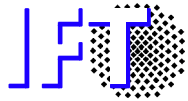


Heat Built-Up

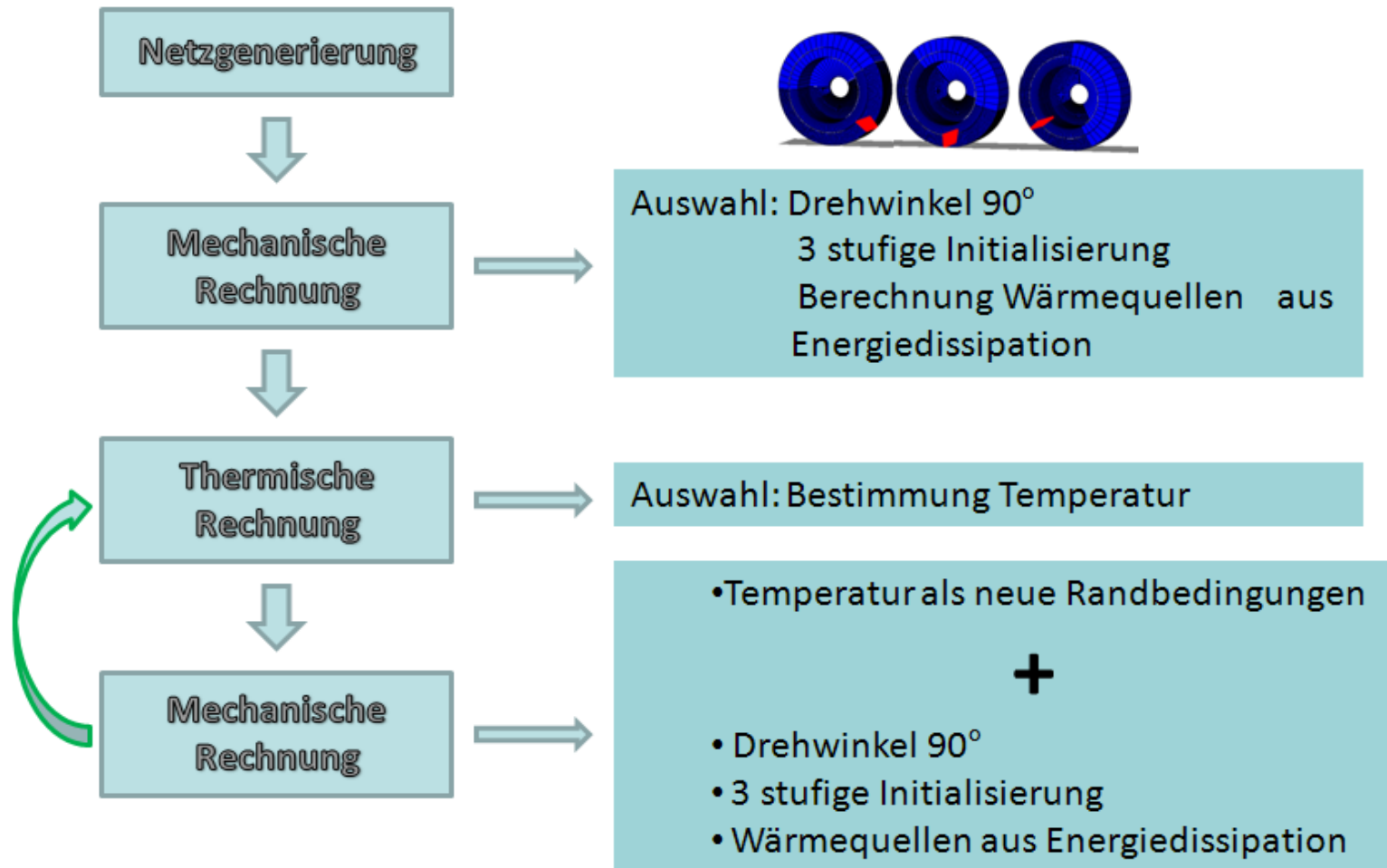


Modellbildung & FEM-Rechnung - Prinzipskizze

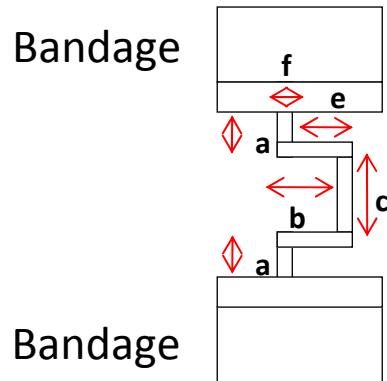




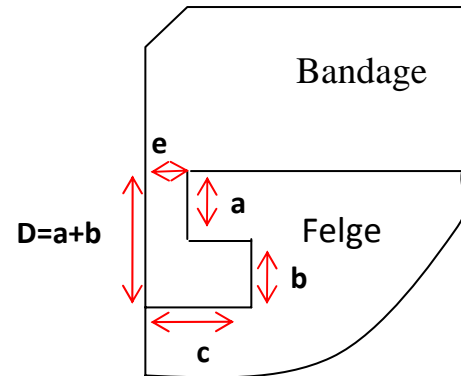
Numerik - Ablaufskizze



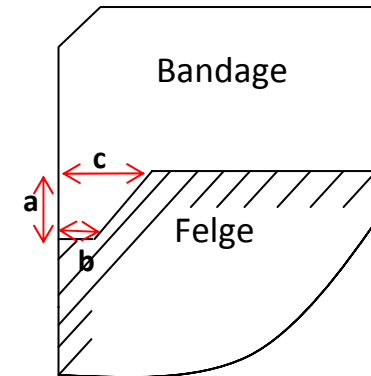
Geometrievariationen



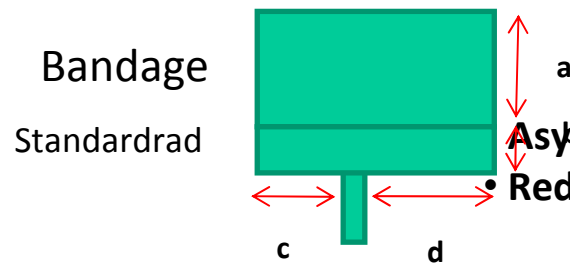
Variante 1



Variante 2

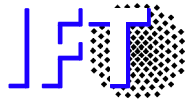


Variante 3



Ziele :

- Harmonisierung der Spannungsverteilung
- Asymmetrie der Spannungen (Schub, HNS, Zug)
- Reduzierung von Spannungsspitzen (Schub, HNS, Zug)



Geometrievariationen Standardrad, V1 & V3

$h=0$ → Variante 1
 $c=e$ & $h=0$ → Standardrad

Exemplarisch: 343-er Antriebsrad

Bandagendicken

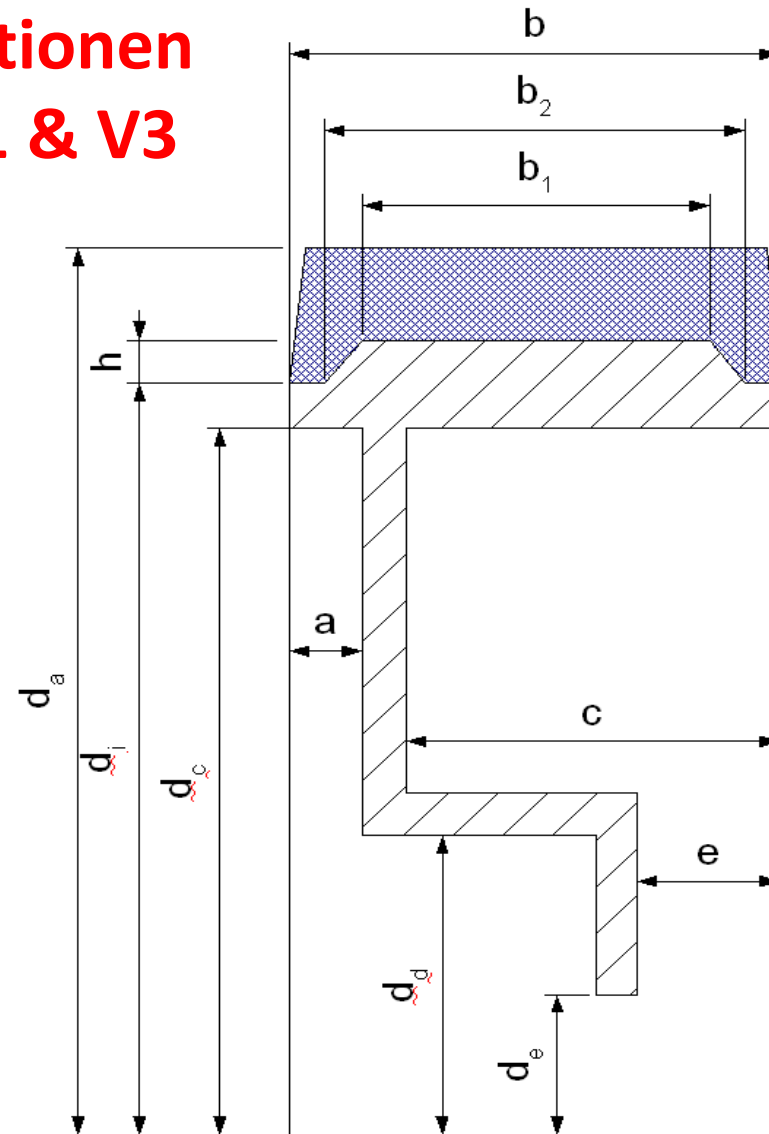
DI [mm]: 243 (50mm), 273 (35mm), 283,
293, 303, 313, 323 (10mm)

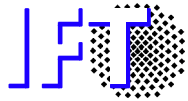
Felgendicken

DC [mm]: 10 / 25 / 60 (Absolutwerte)

Radbreiten

B [mm]: 86 / 114 / 136

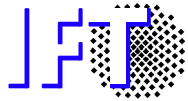




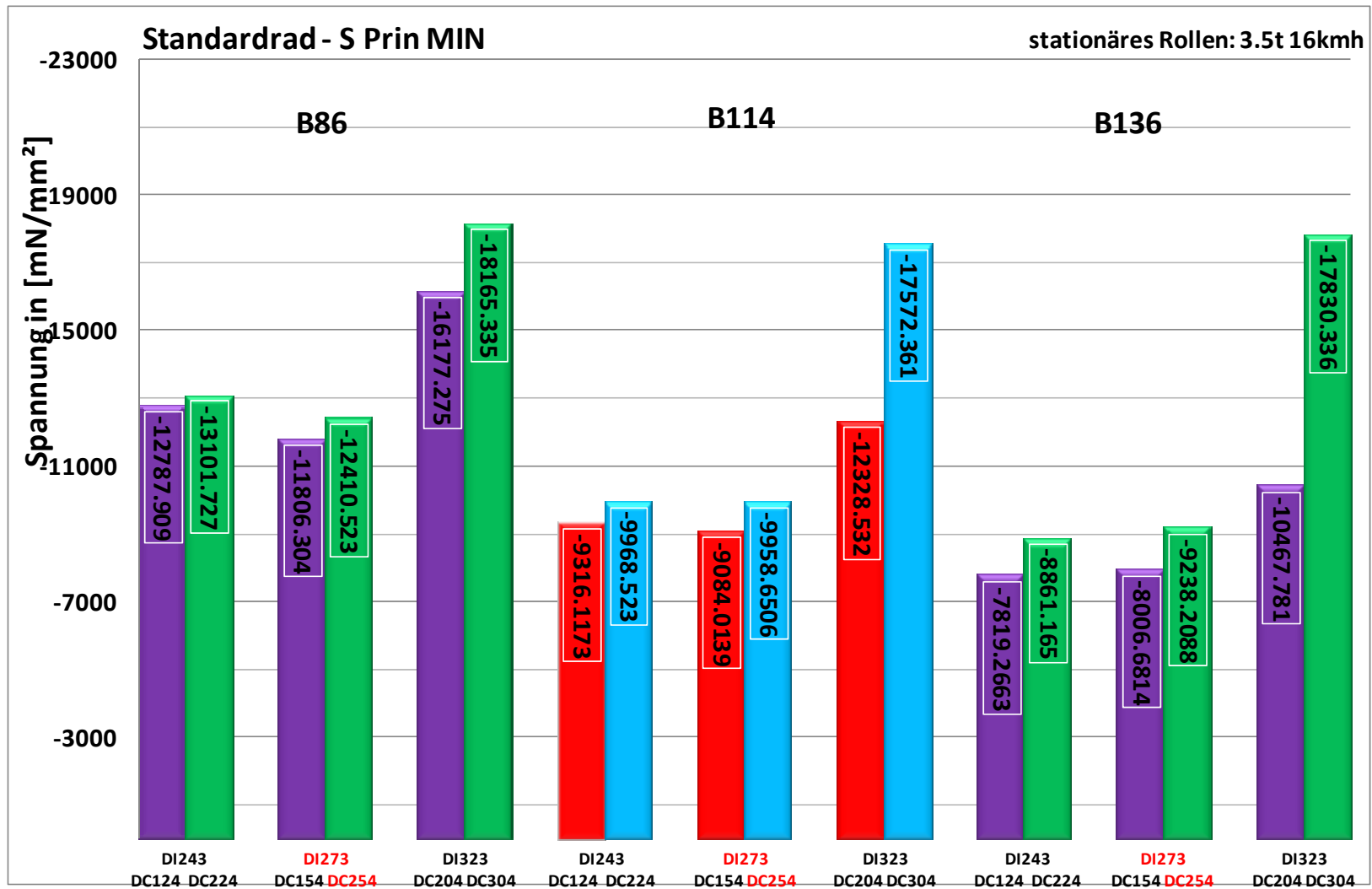
Standardrad

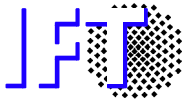
Stationäres Rollen : 3.5t 16kmh (B86 - B136)

Drehen auf der Stelle : 3.5t 90°/s (B114)

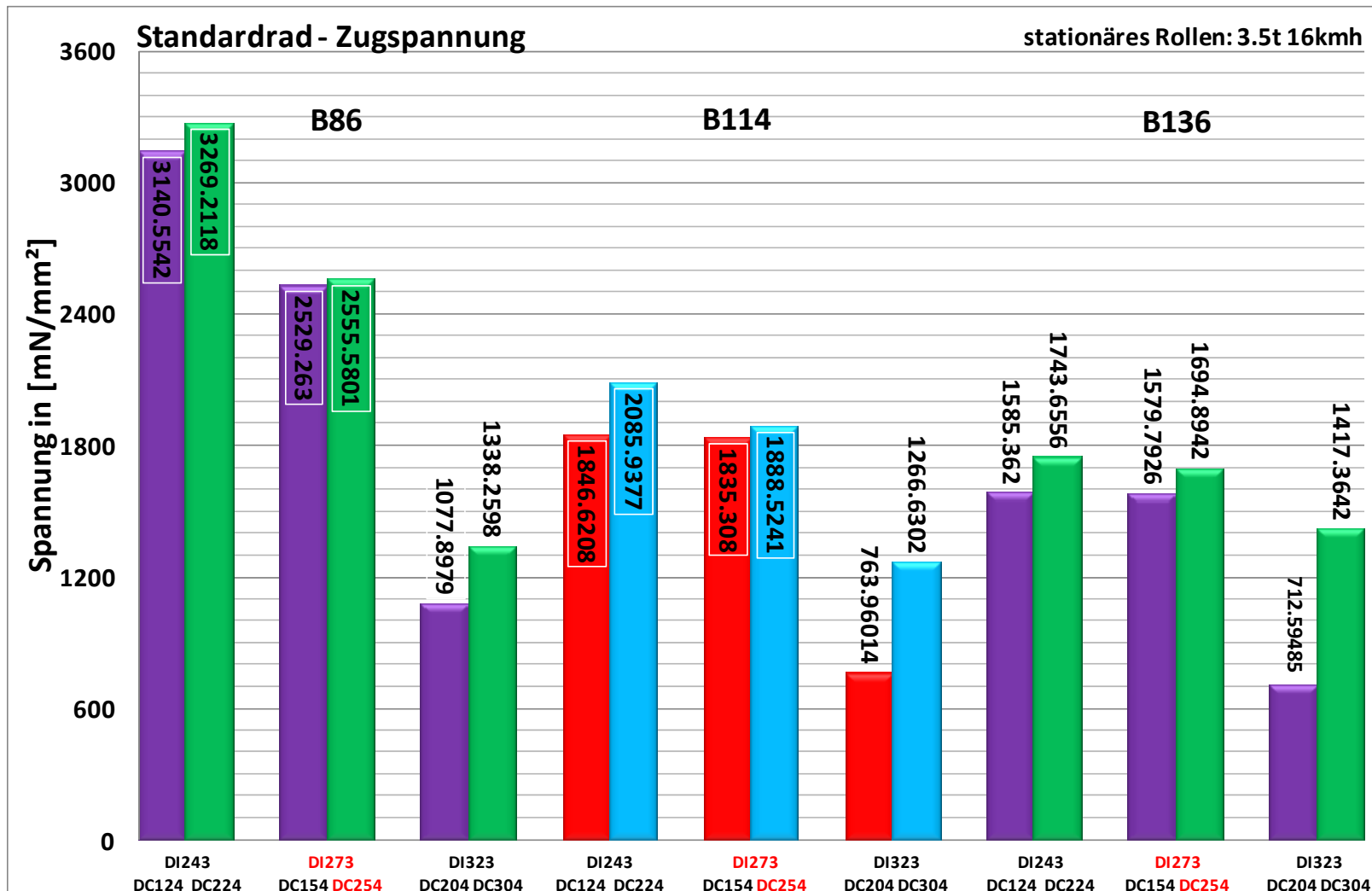


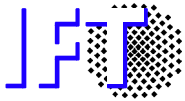
Standardrad: Lastfall Rollen - Breitenvergleich



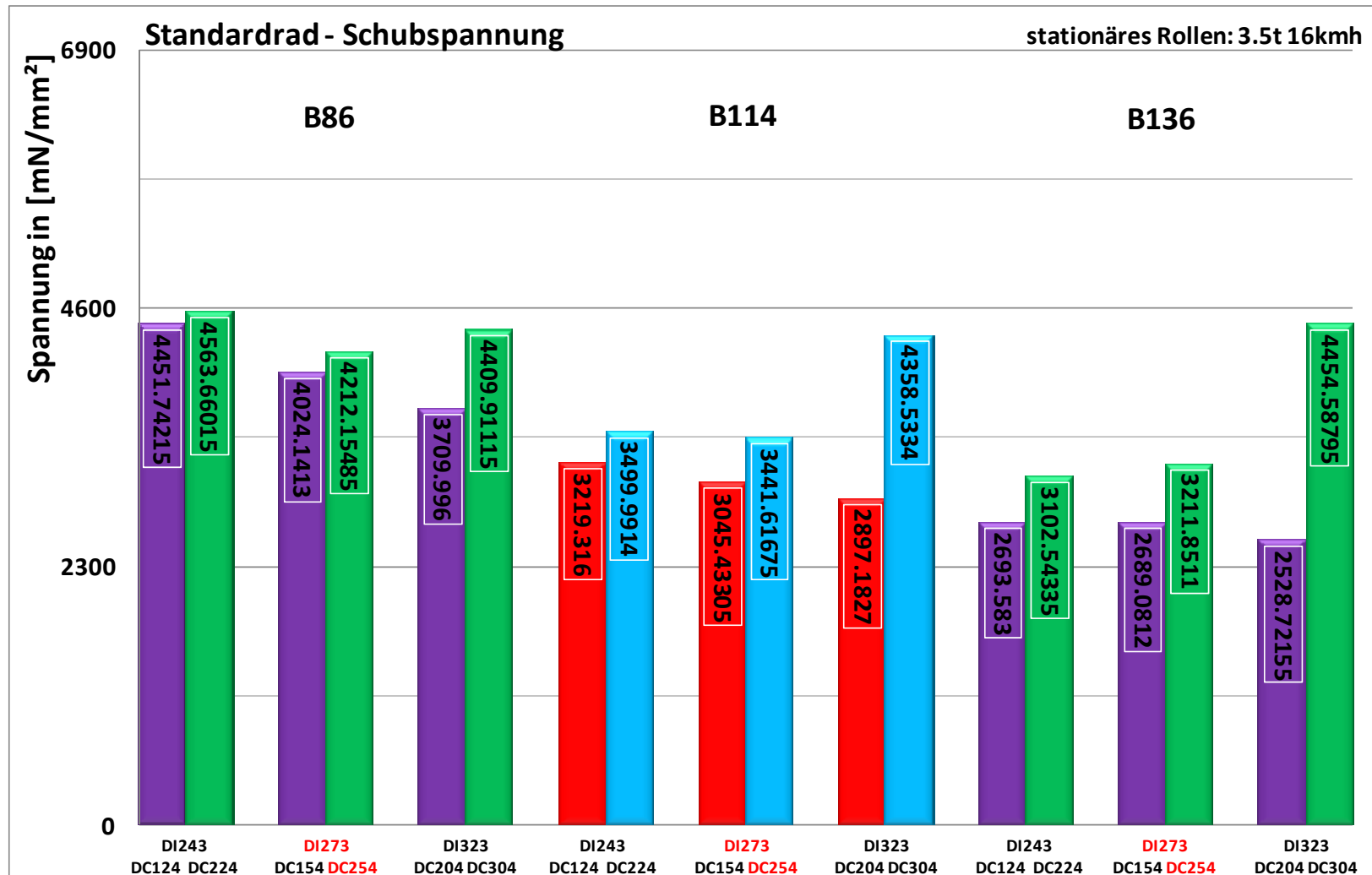


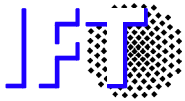
Standardrad: Lastfall Rollen - Breitenvergleich



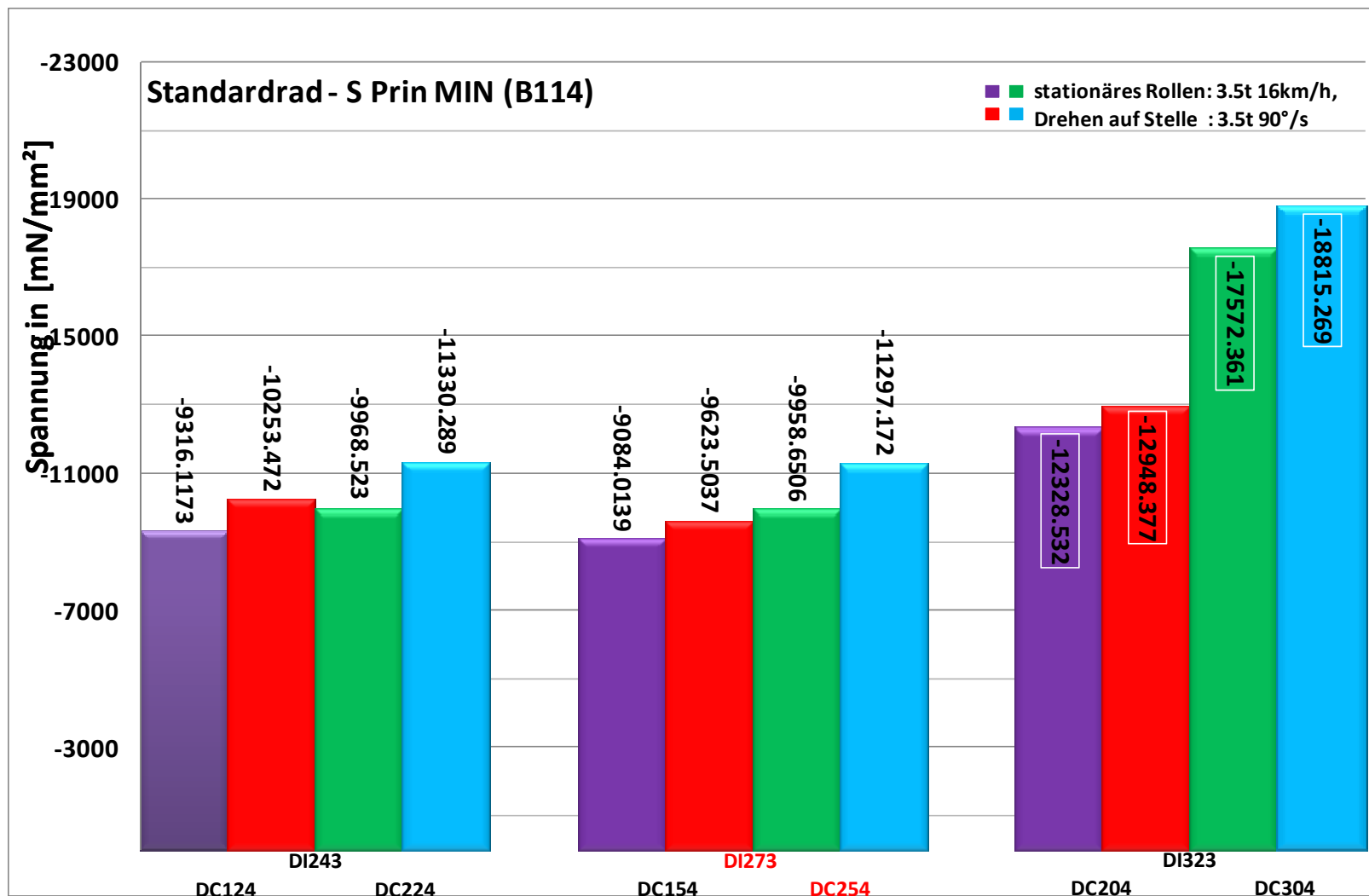


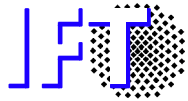
Standardrad: Lastfall Rollen - Breitenvergleich





Standardrad: Lastfälle Rollen & Drehen auf der Stelle

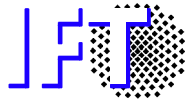




Vergleich Variante 1 & Standardrad

Stationäres Rollen : 3.5t 16kmh (B86 - B136)

Drehen auf der Stelle : 3.5t 90°/s (B114)



Geometrievariationen Variante 1

Bandagendicken

DI [mm] 243, 273, 323

BD [mm] 50, 35, 10

Felgendicken [DC]

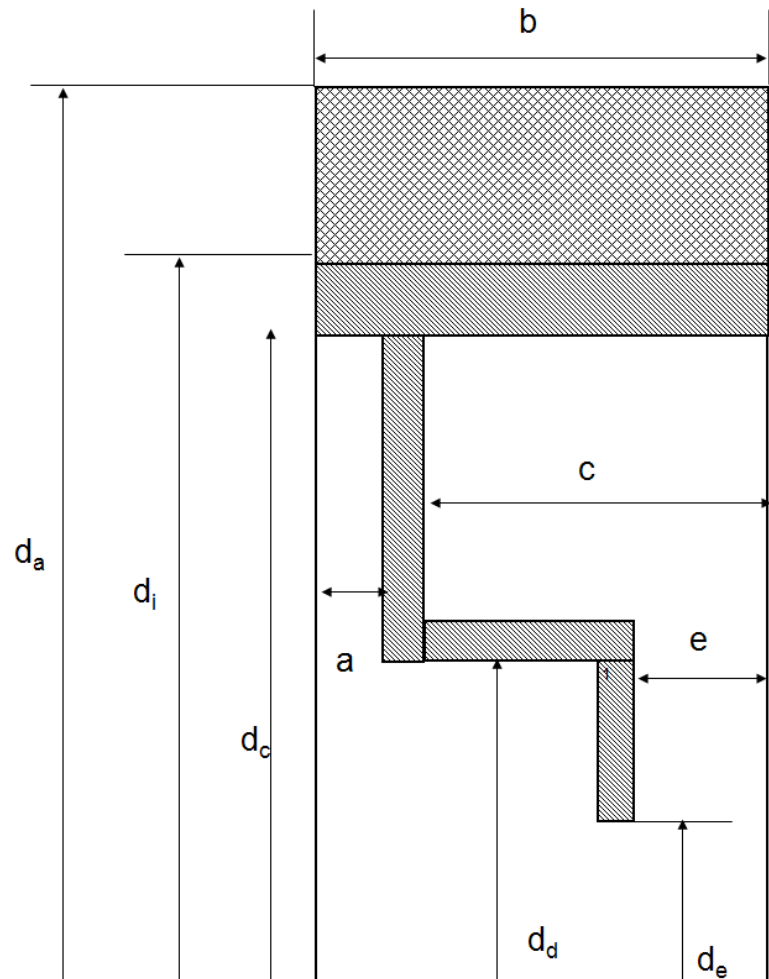
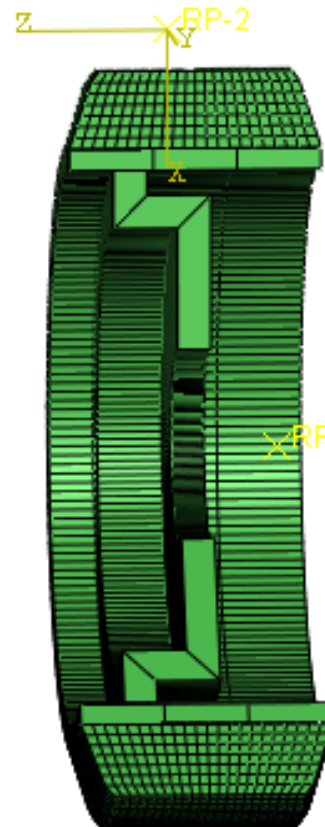
FD [mm] 10 / 60

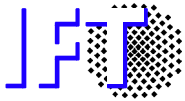
Radbreite bei Felge

B [mm] 86 / 114 / 136

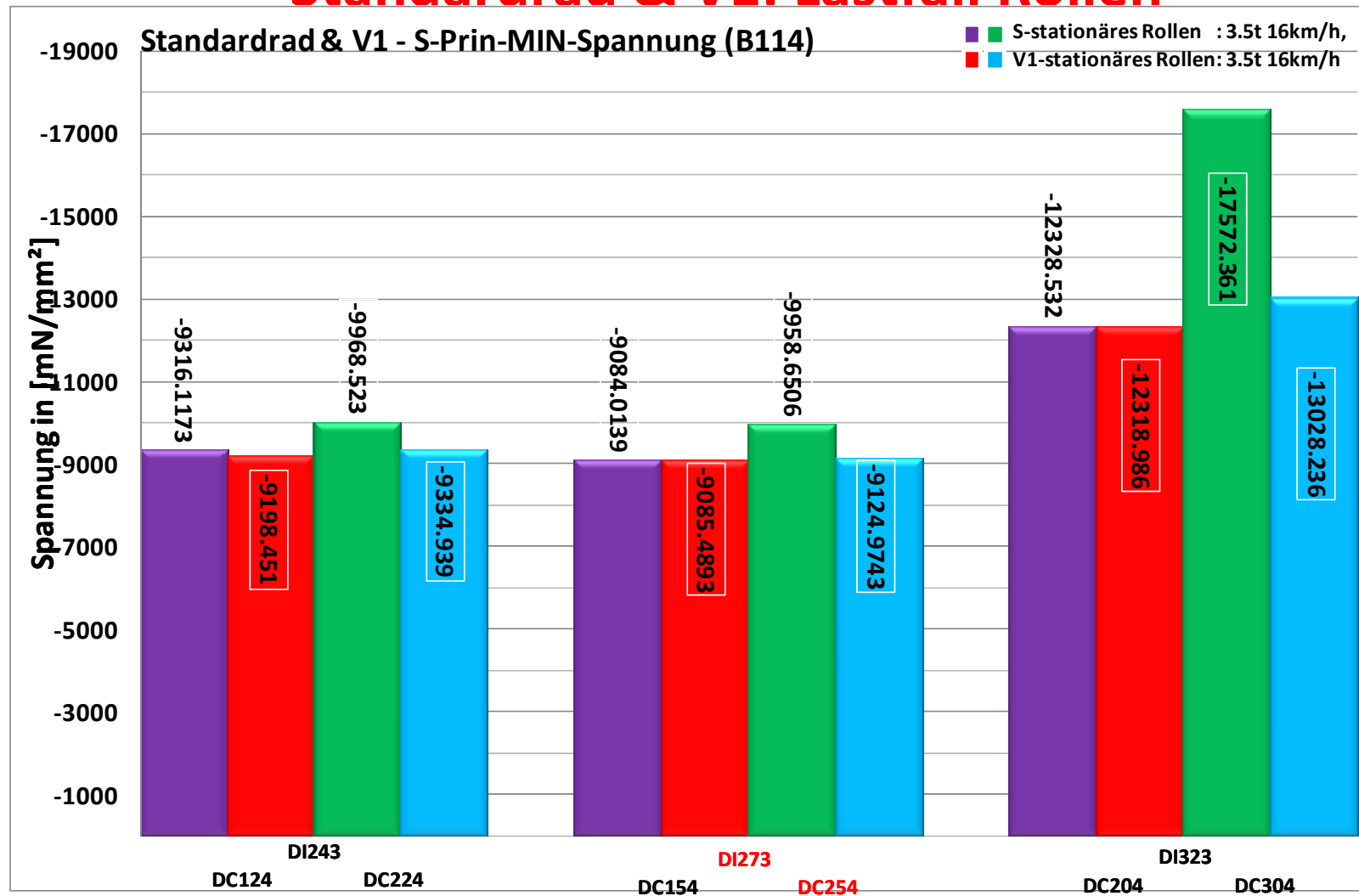
Lastfälle

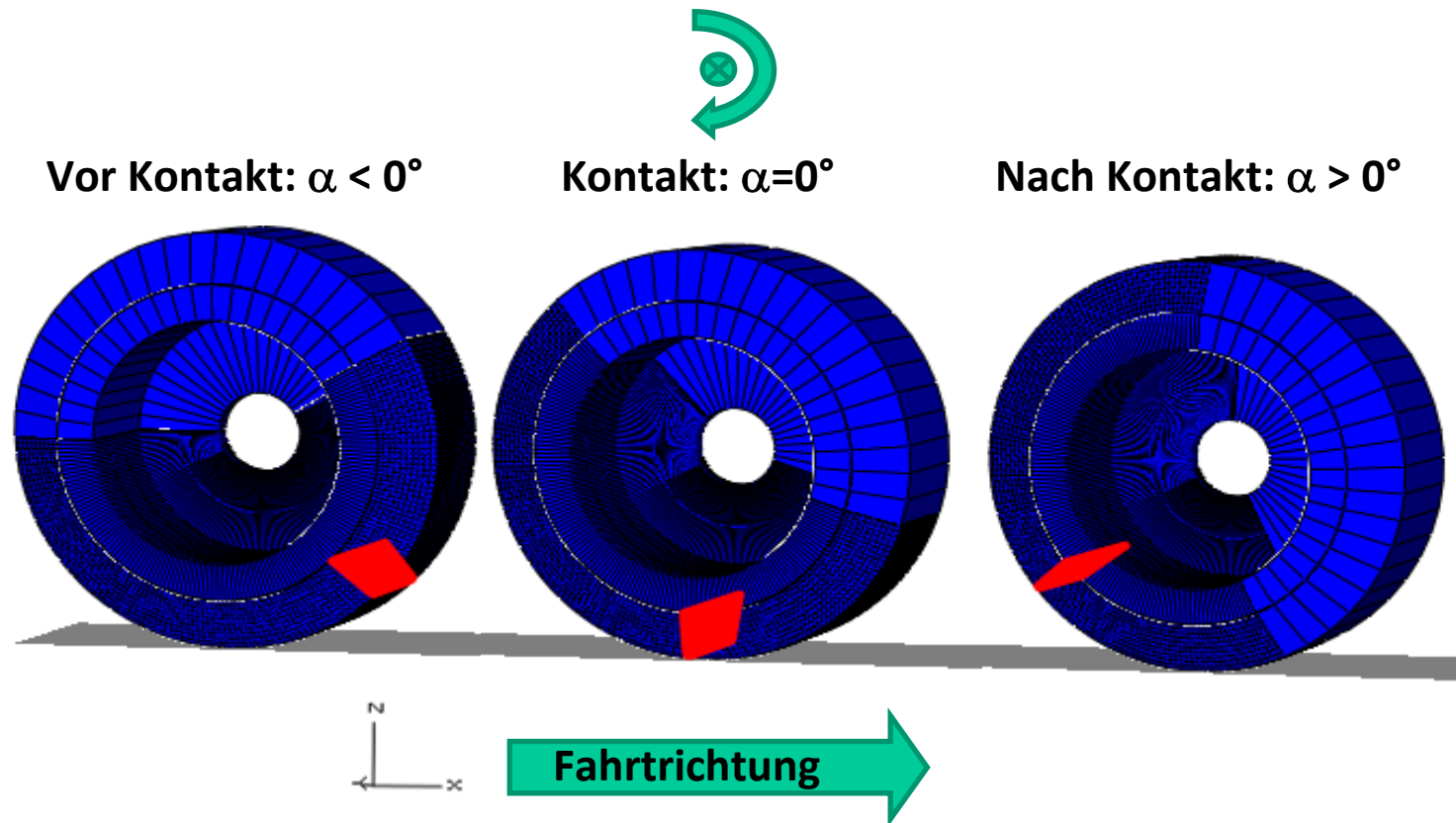
- Drehen auf der Stelle
- Stationäres Rollen

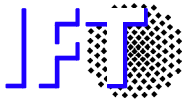




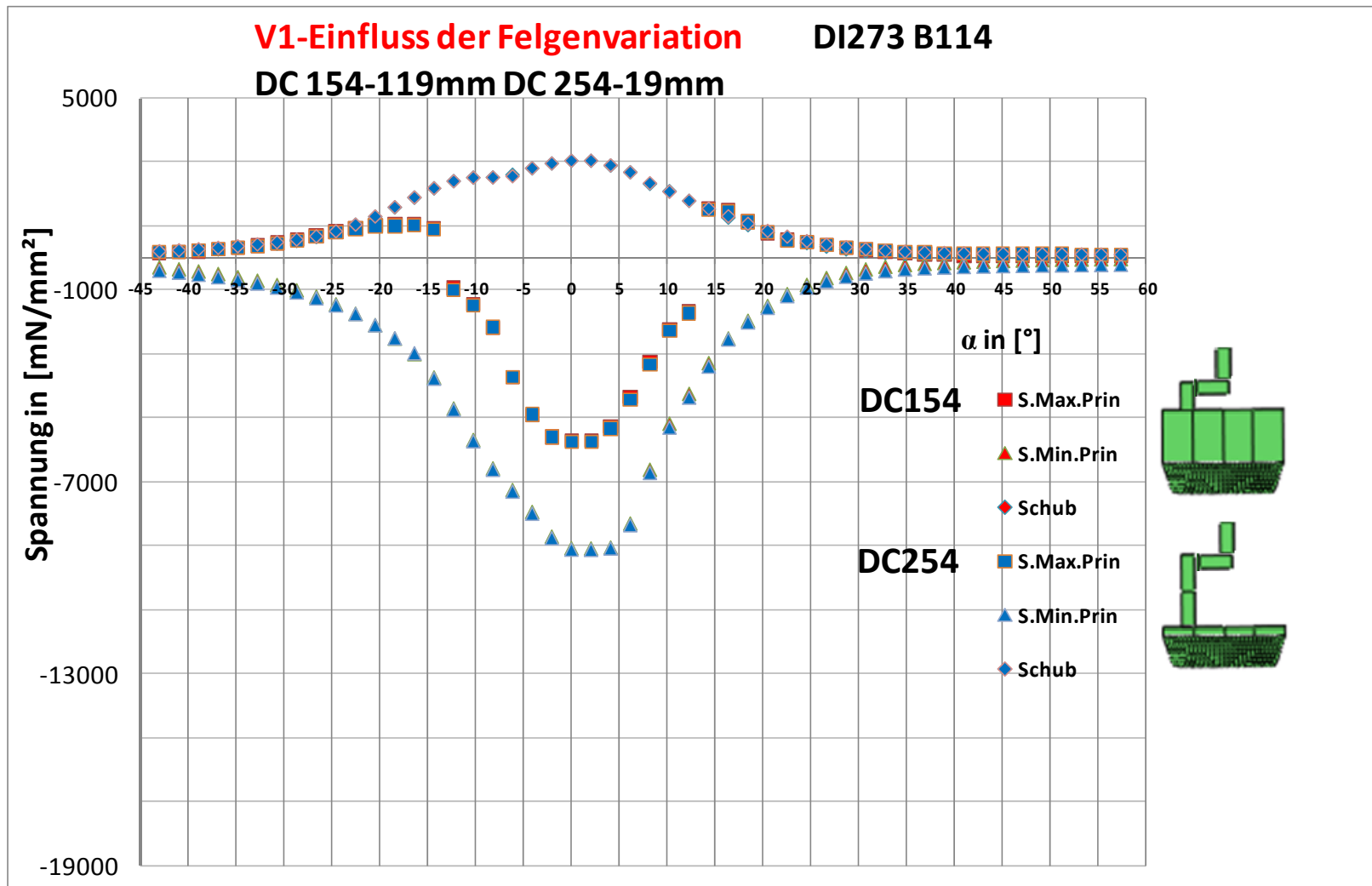
Standardrad & V1: Lastfall Rollen

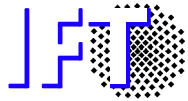




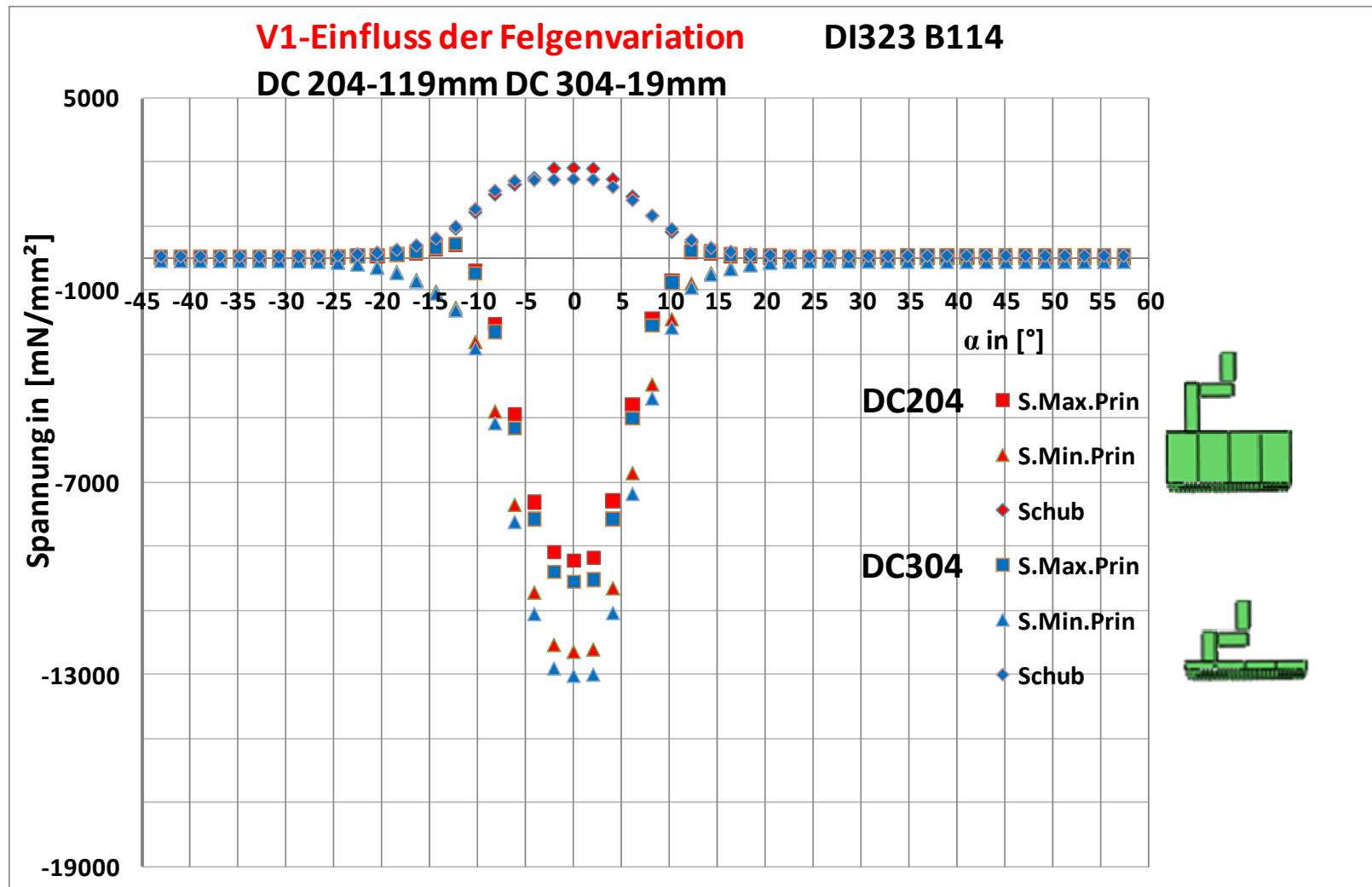


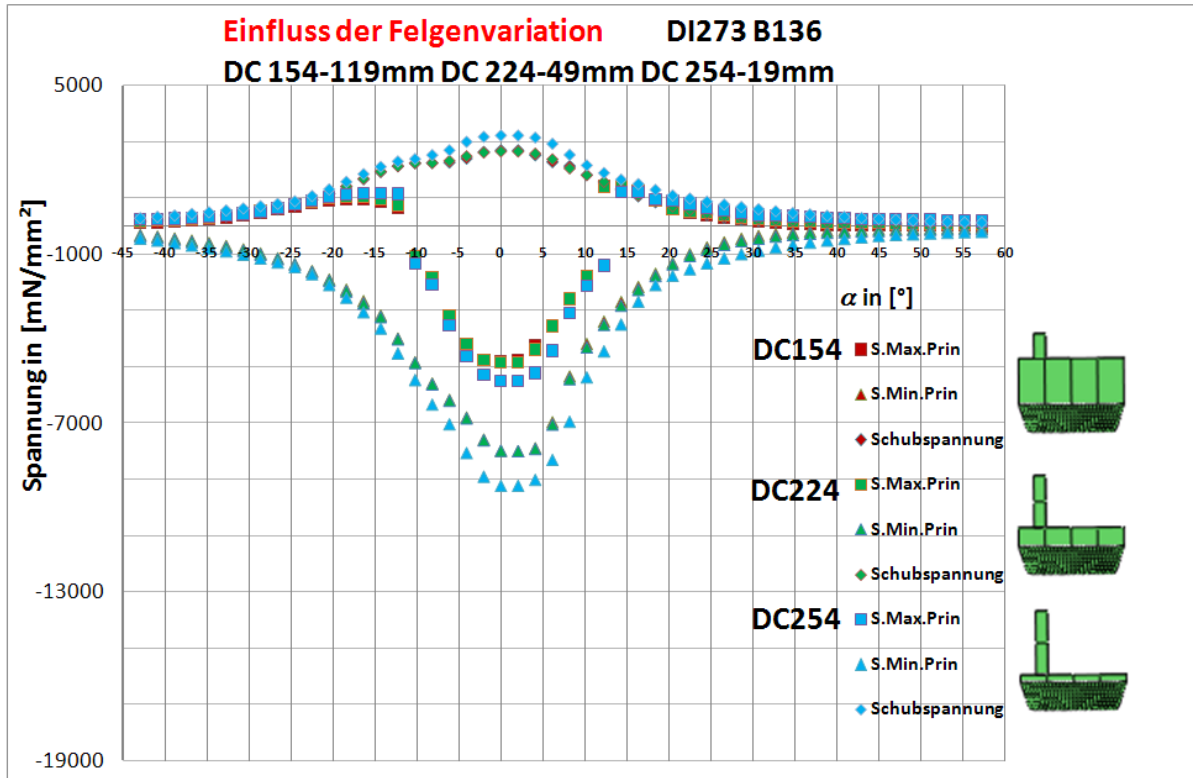
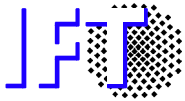
Geometrievariationen Variante 1



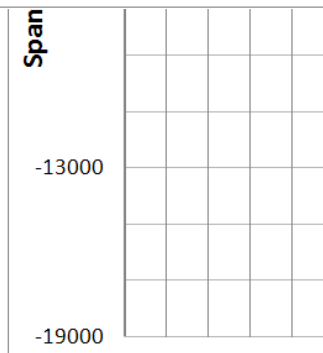
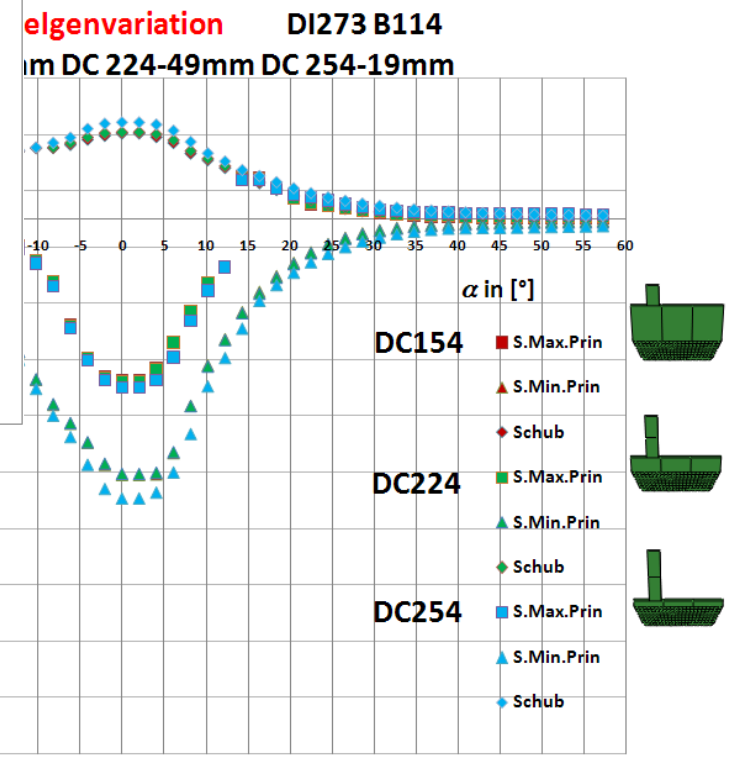


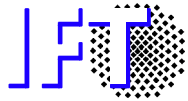
Geometrievariationen Variante 1





Standardrad: Einfluss der Felge





Temperaturbeanspruchung [°C]

thermische Kurzzeitanalyse

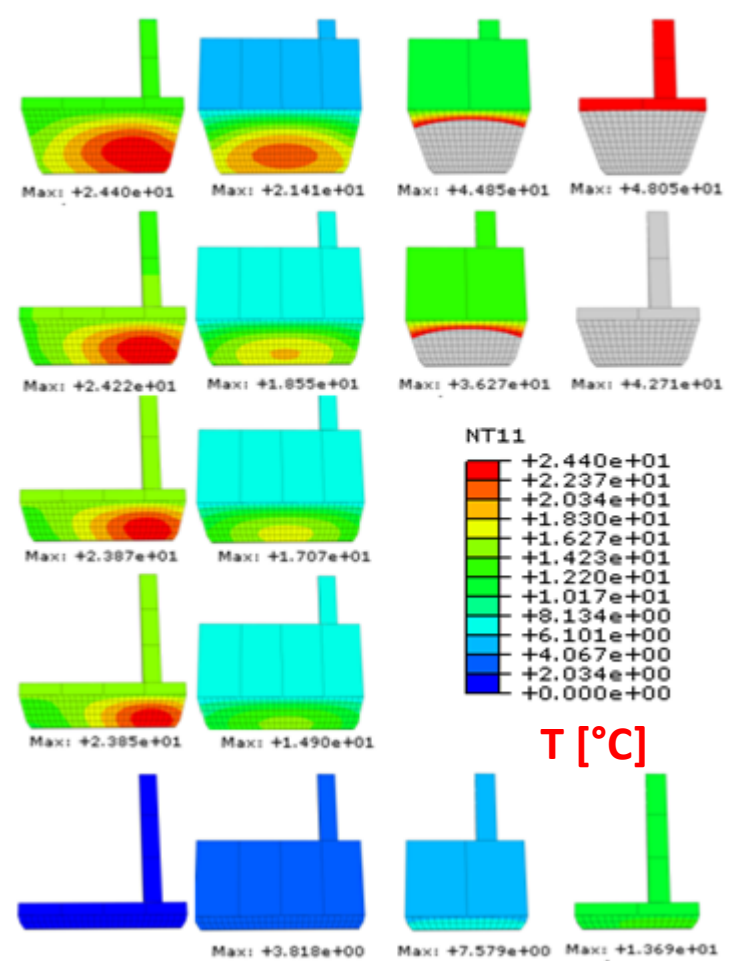
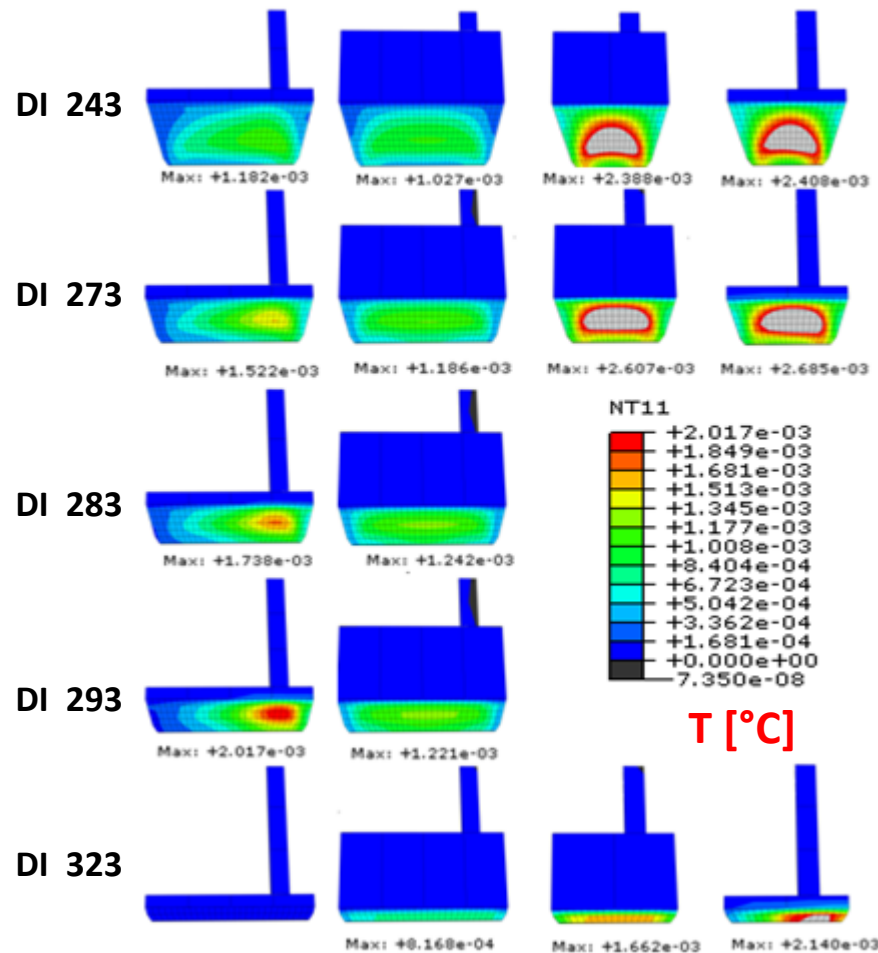
thermische Langzeitanalyse

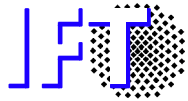
B 136

B 86

B 136

B 86





Zwischenfazit – Arbeit am MTL

- **Ablaufskizze der FEM-Simulationen**

- **Auswahl Schwachstellenanalyse**
 - **Lastfälle (Drehen auf der Stelle, Rollfahrt)**
 - **Geometrievariationen**

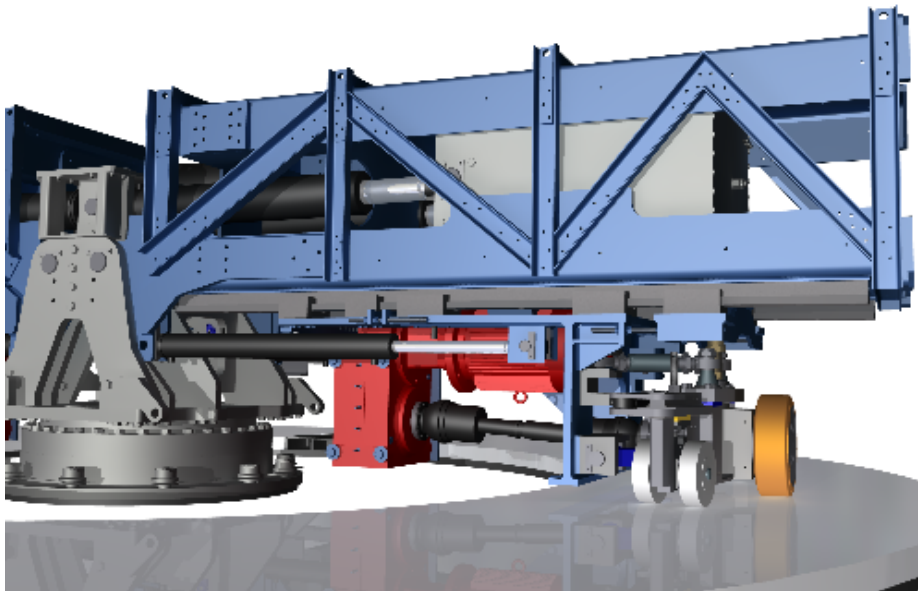
- **Experimente zur Materialcharakterisierung**

Kreisaktuatorprüfstand zur Untersuchung von Rädern und Rollen am IFT



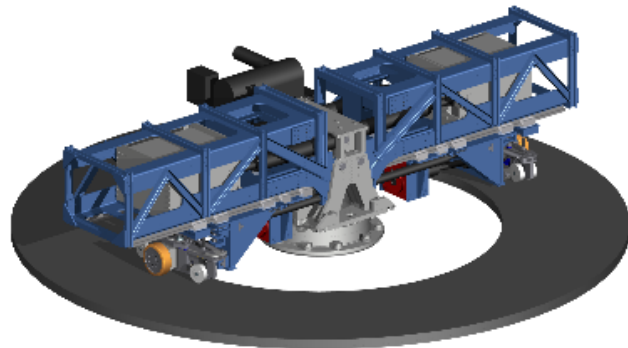
Prüfbare Radgrößen:	200 mm bis 400 mm
Laufbahndurchmesser:	dynamisch verstellbar zwischen 4 und 6 m
Radgeschwindigkeit:	bis 10 m/s
Antriebsleistung:	je Rad bis zu 30 kW
Prüfkraft:	dynamisch verstellbar bis 50 kN
Lenkwinkel:	dynamisch lenkbar $\pm 25^\circ$
Sturzwinkel:	bis 10°

Funktionsweise Prüfstand



- Ein Prüfrad je Arm welches sich auf Kreisbahn bewegt
- Mittelteil ist drehbar gelagert
(hier erfolgt kein Antrieb!)
- Jedes Rad wird einzeln angetrieben
- Prüflast ist in Form von Gewichten über dem Rad angebracht, hydraulisch verschiebbar zur Variation der Last
- Eigenmasse der Arme trägt ebenfalls zur Prüflast bei
- Bahnradius des Prüfrades hydraulisch verstellbar
- Belastungssituation wie sie in ähnlicher Form bei Staplern auftritt
- Reale Bodenbeläge können realisiert werden

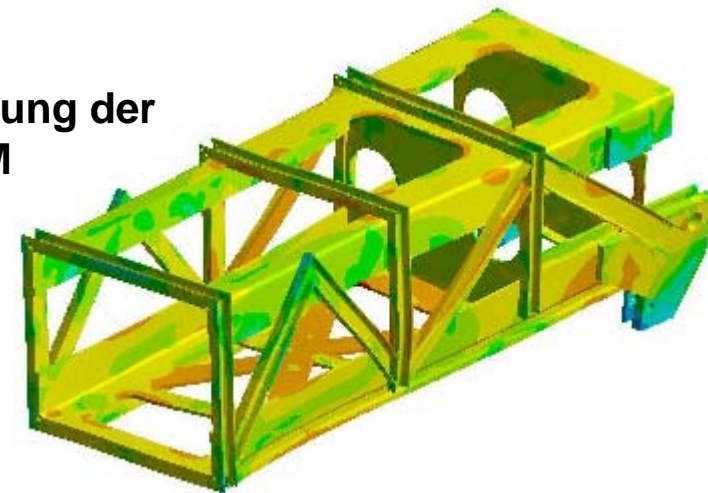
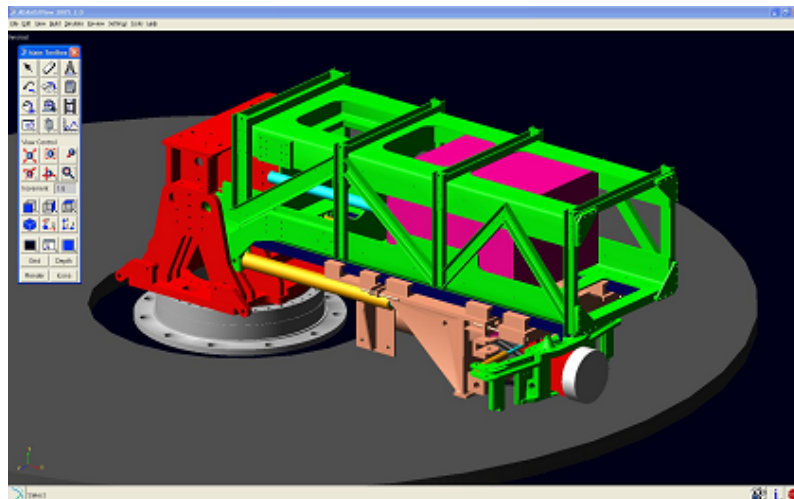
Entwicklung Prüfstand mittels CAD, MKS, FEM am IFT



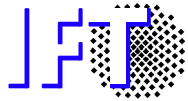
Entwicklung des Prüfstandes in 3D CAD
am IFT

Fertigung größtenteils in eigener
mechanischen Werkstatt

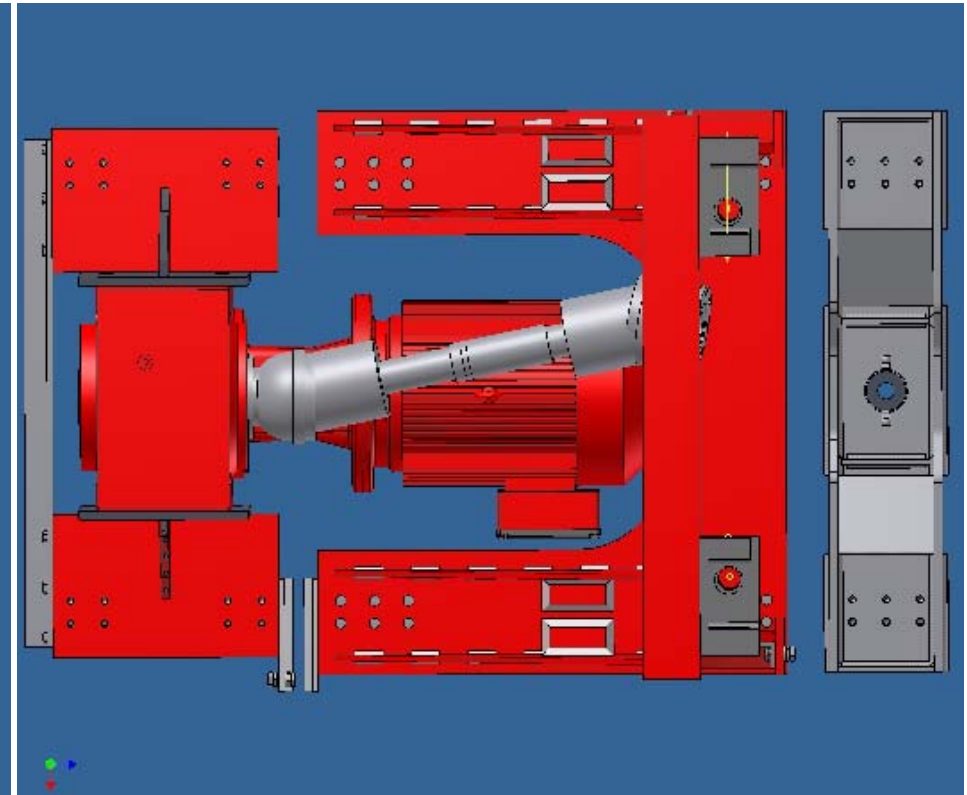
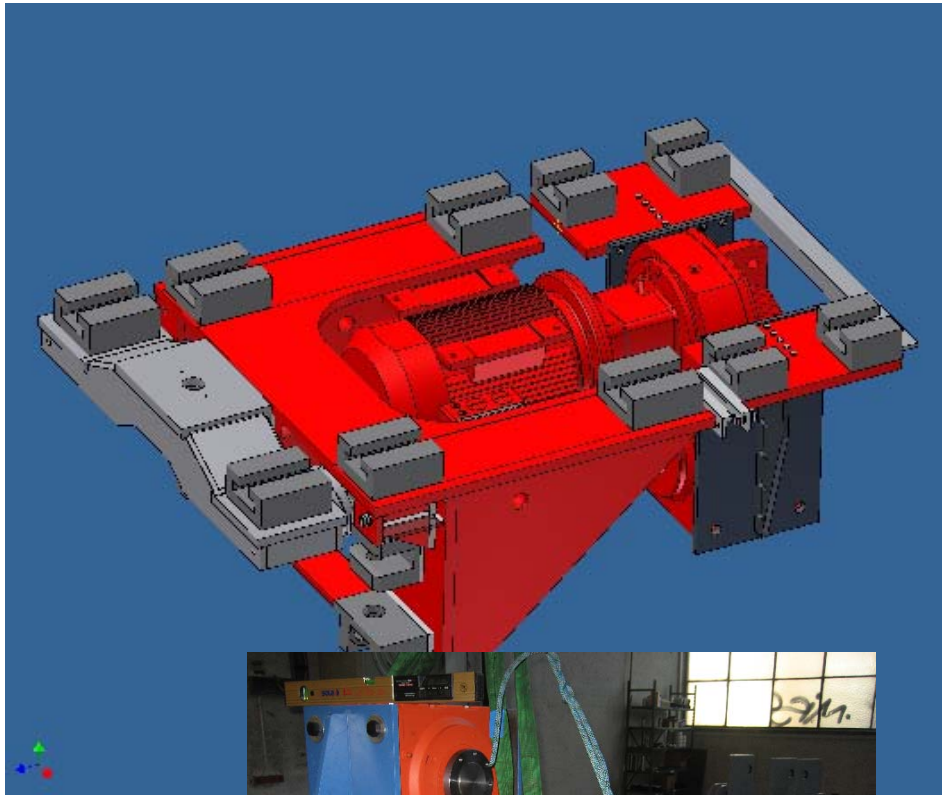
Berechnung und Optimierung der
Komponenten mittels FEM

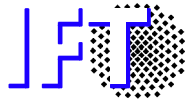


Mehrkörpersimulation des Prüfstandes
zur schwingungstechnischen
Optimierung

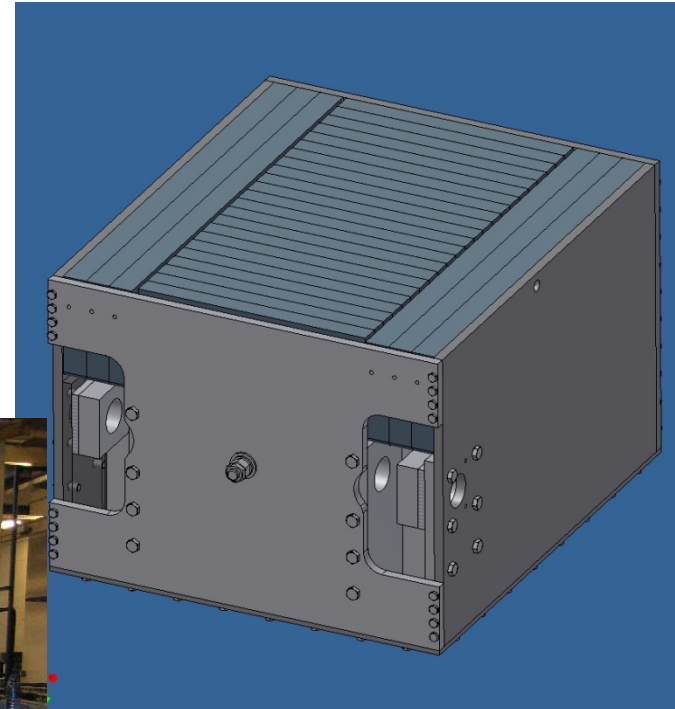
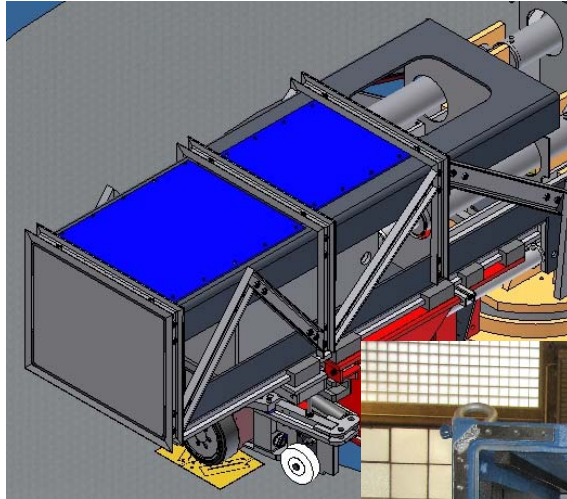


Getriebe-/Motoraufhängung





Prüflastwanne

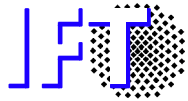


Fertigung



Prüfbodenbelag





Prüfbodenbelag



Messtechnik am Prüfstand

Messtechnik komplette Eigenentwicklung des IFT



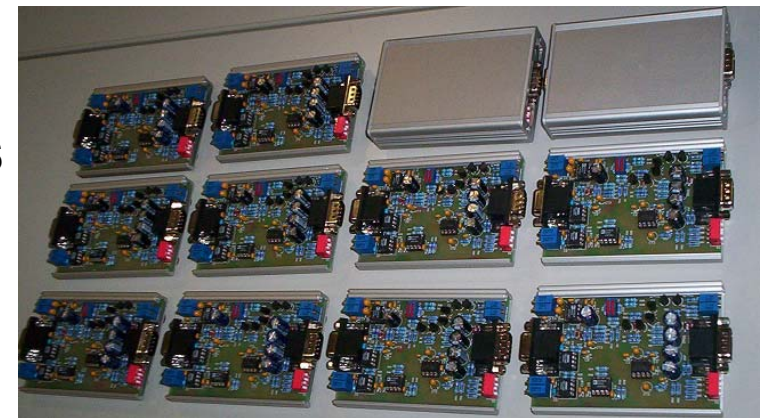
Optimierung der Bauteile zur Messung

Zielkonflikt:

hohe Bauteilfestigkeit ↔ ausreichende Verformung

Messverstärker für 2 Kanäle DMS

sehr hohe Präzision ($<0,1\%$)
und kompakte Bauform

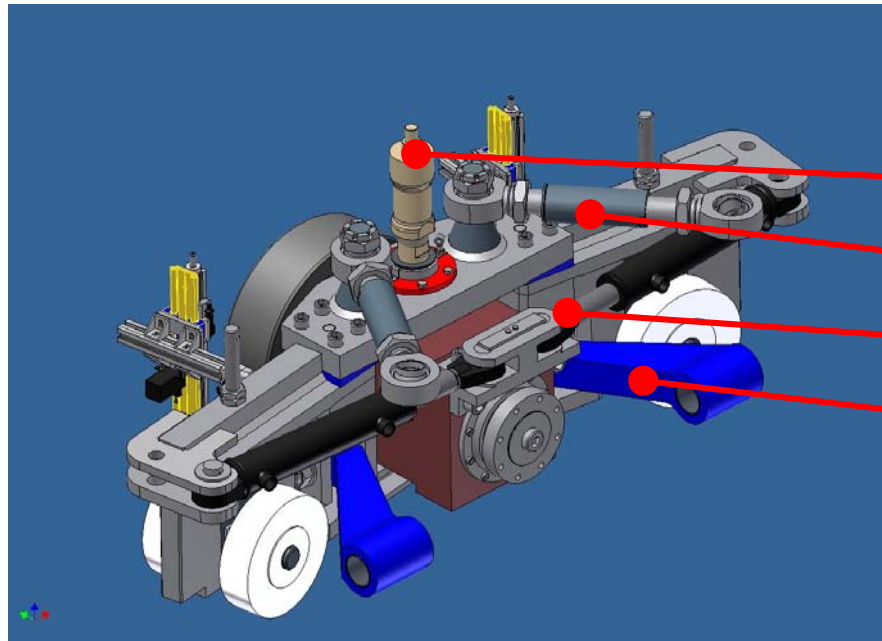


Modul zur Temperaturerfassung am Rad

durch Funkübertragung direkte Messung

(4 Messstellen) am rotierendem Rad

Messtechnik am Prüfstand



Messung der am Prüfrad angreifenden Belastungen mittels DMS:

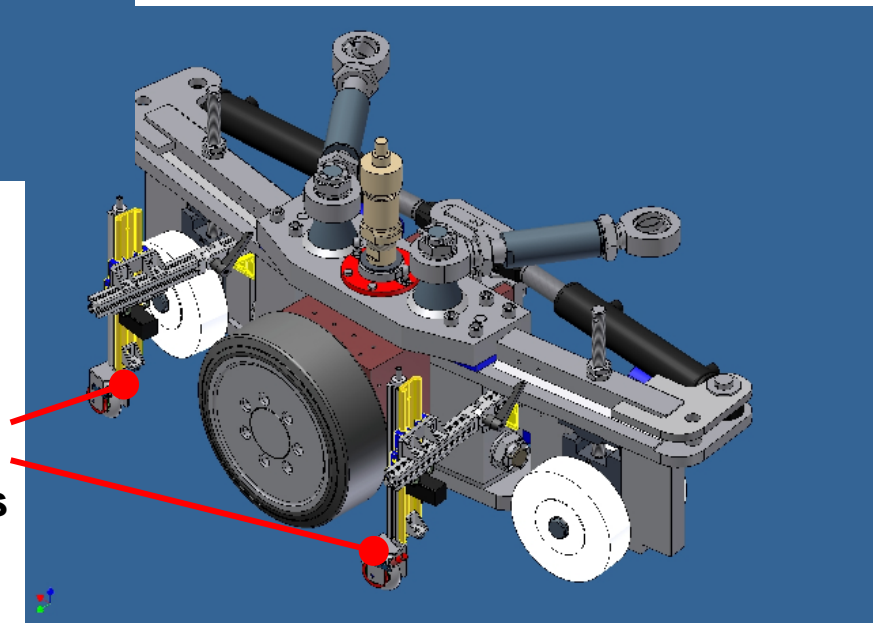
Normalkraft auf Prüfrad

Stützkraft Oberlenker

Lenkkraft

Stütz- und Querkraft Unterlenker

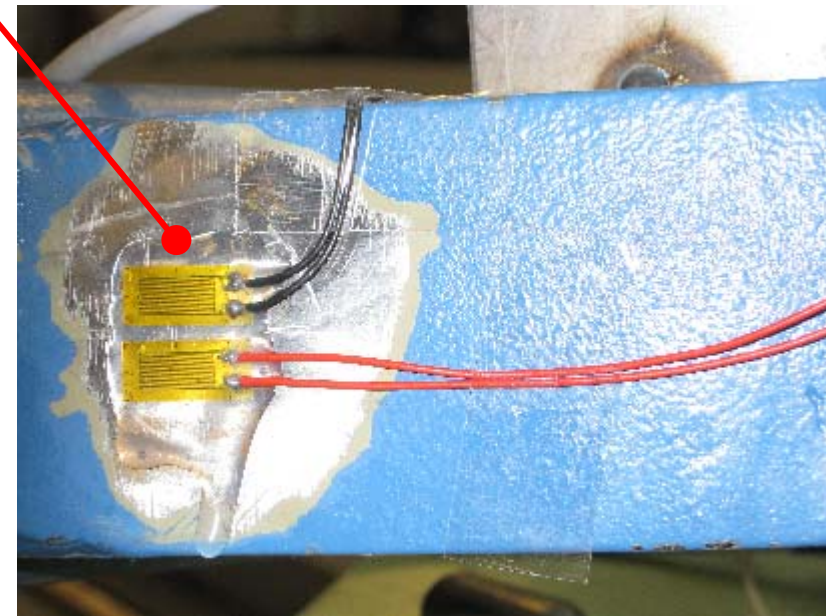
Messräder zur Erfassung der Einfederung und der Absolutgeschwindigkeit des Prüfrades



BMBF-Projekt Innorad: Messtechnik Radaufhängung

DMS

**Unterlenker
(komb. Belastung)**

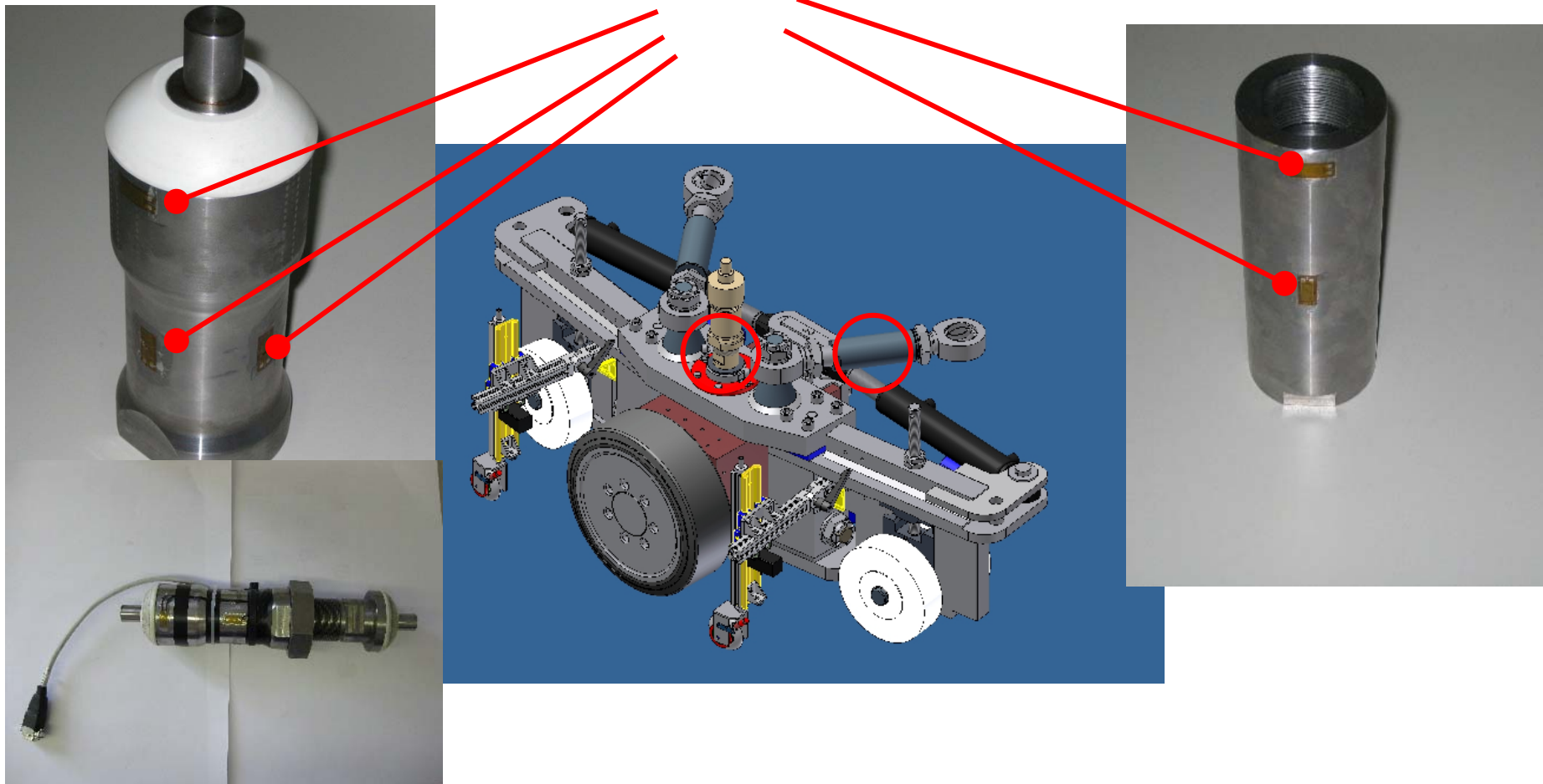


BMBF-Projekt Innorad: Messtechnik Radaufhängung

**Druckstrebe
(Normalkraft)**

**Oberlenker
(Querkräfte)**

DMS

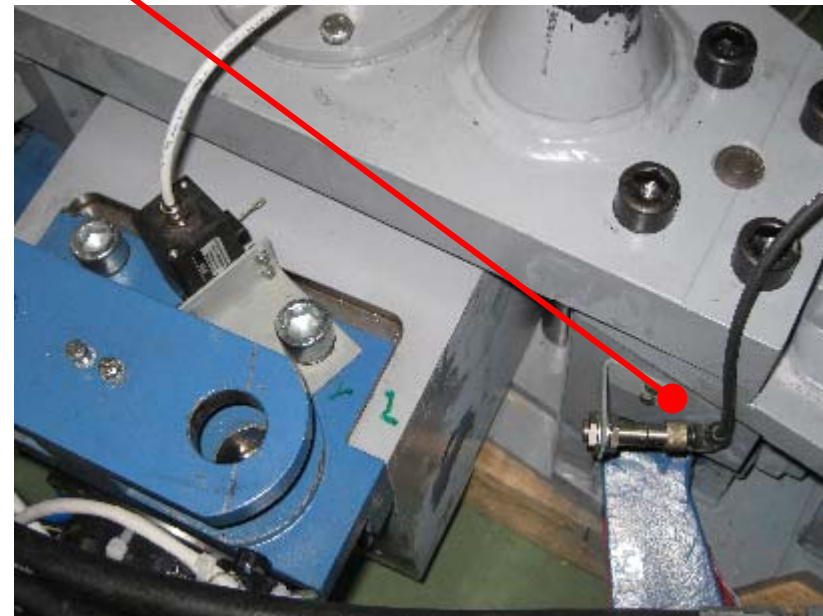
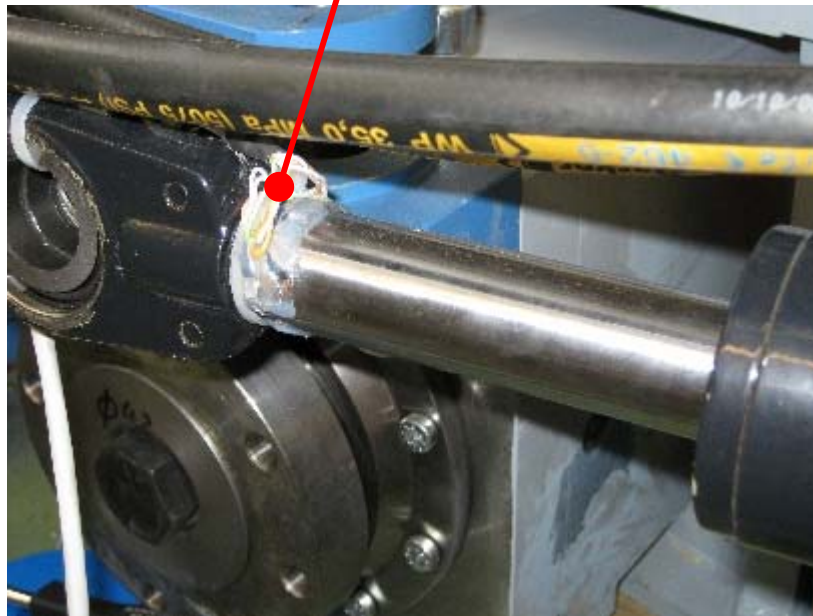


BMBF-Projekt Innorad: Messtechnik Radaufhängung

DMS

**Lenkzylinder
(Normalkräfte)**

Bero



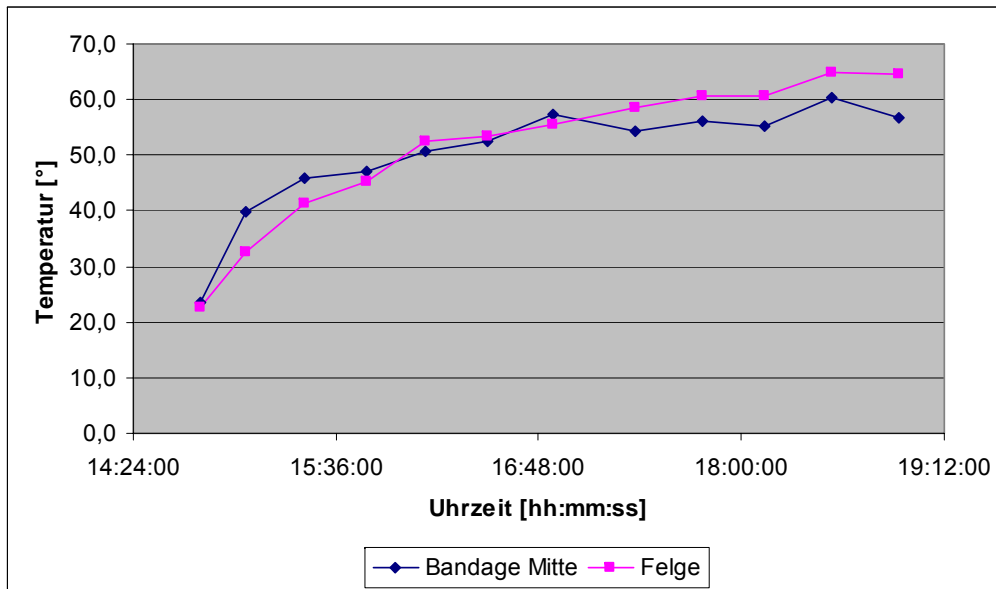
BMBF-Projekt Innorad: Kalibrierung Messung Oberlenker

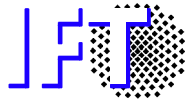


Prüfläufe



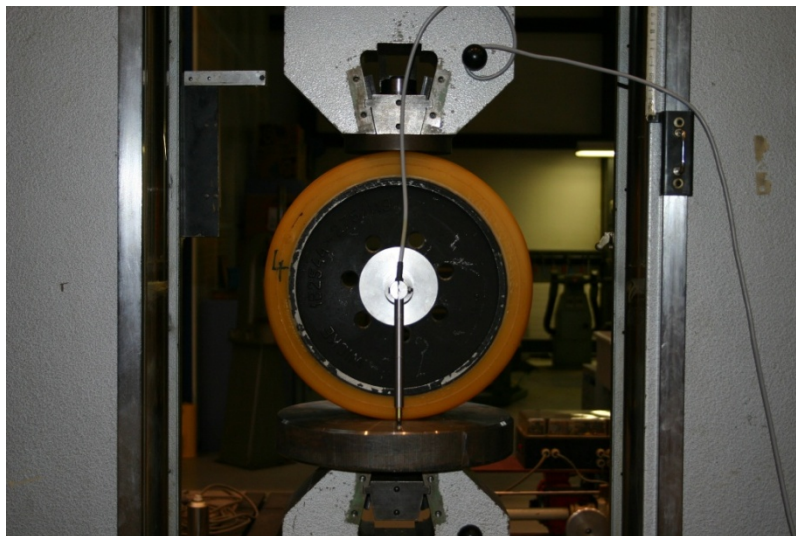
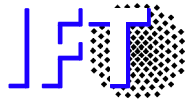
Prüfläufe





Zusammenfassung

- **Neuartiger Radprüfstand als Kreisaktuator**
- **Realitätsgetreuer, entkoppelter Bodenbelag**
- **Direkt angetriebene, lenkbare Räder mit variabler Radlast**
- **Dynamische Analyse aller am Rad wirkenden Kräfte**
- **FEM - thermo-mechanische Beanspruchung**
- **Überprüfung von Radvariationen → Ausschluss ungünstiger Geometrien**
- **Optimierung von Konstruktionen, Werkstoffen, Fertigungsverfahren**
- **Entwicklung Auslegungs-, Berechnungs- und Testverfahren**



DANKE - Fragen und Anregungen



Dr. G. Rückner, H. Nowitzki, C.Vorwerk



VDI-Flurförderzeugtagung Baden-Baden, 30.09.2009, Seite 41