



**Termine für Vorlesungen 2006/2007**

Datum		Thema
11.10.06	G. Köhler	Konstruktion der Schienenfahrzeuge
18.10.06	G. Köhler	Konstruktion der Schienenfahrzeuge
25.10.06	G. Köhler	Konstruktion der Schienenfahrzeuge
01.11.06	F. Minde	Grundlagen der Eisenbahnbremstechnik
08.11.06	F. Minde	Grundlagen der Eisenbahnbremstechnik
15.11.06	F. Minde	Grundlagen der Eisenbahnbremstechnik
22.11.06	F. Minde	Grundlagen der Eisenbahnbremstechnik
29.11.06	P. Spiess	Fahrdynamik des Schienenverkehrs
06.12.06	P. Spiess	Fahrdynamik des Schienenverkehrs
13.12.06	P. Spiess	Fahrdynamik des Schienenverkehrs
20.12.06	P. Spiess	Fahrdynamik des Schienenverkehrs
10.01.07	G. Köhler	Konstruktion der Schienenfahrzeuge
17.01.07	G. Köhler	Konstruktion der Schienenfahrzeuge
24.01.07	G. Köhler	Konstruktion der Schienenfahrzeuge
		Termin für Exkursion
31.01.07	G. Köhler	Konstruktion der Schienenfahrzeuge



## Inhalt

### Rechtliche Rahmenbedingungen

- europäische Richtlinie
- nationales öffentliches Recht
- wichtige Rechtsbegriffe

### Regelwerke und Baurichtlinien

### Allg. Definitionen und Begriffsbestimmungen

### Fahrwerke

- Radsätze, Radsatzlager
- Radsatzführungen
- Fahrwerksrahmen
- Schnittstelle Wagenkasten/ Fahrwerk
- Anbauteile

### Einbauplanung der Bremsen

### Anordnung der Getriebe und Motoren

### Wagenkästen

- Werkstoffauswahl
- Baugruppen
- Ausrüstung

### Kupplungen und Übergänge

### elektrische Ausrüstung

### Fenster, Türen und Sitze

### Heizung, Klimatisierung und Lüftung

### Brandschutz, Crash, Aerodynamik, Lärmemission

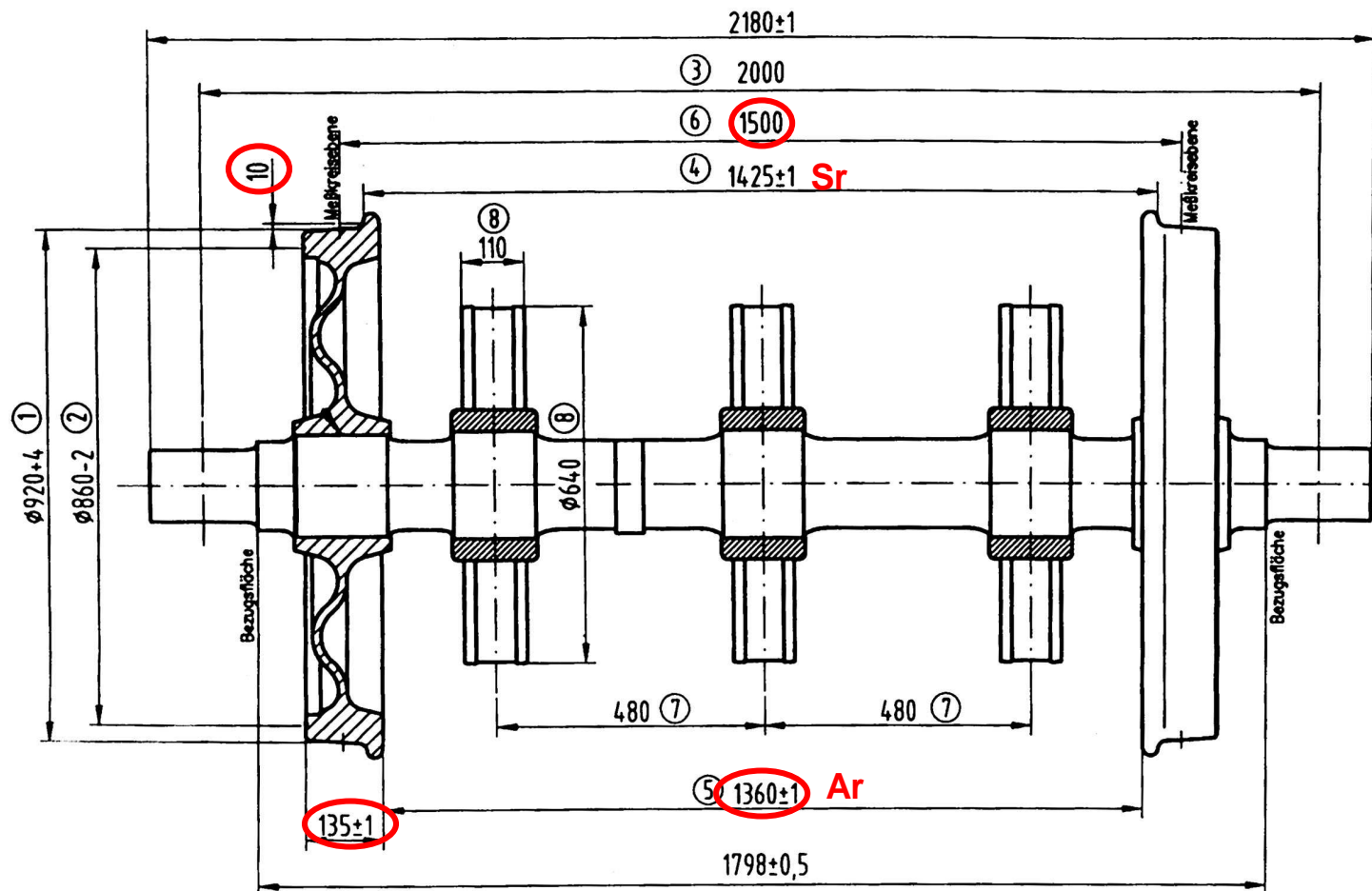


# Fahrwerke

## Radsätze



# Radsatz für Reisezugwagen



- ① Messkreisdurchmesser
- ② Durchmesser Grenzmaßrille
- ③ Radsatzlagermittenabstand
- ④ Spurmaß
- ⑤ Abstand der Radkranzrückenfläche
- ⑥ Abstand der Meßkreisebene
- ⑦ Mittenabstand der Bremscheiben
- ⑧ Wellenbremscheibe  $640 \times 110$

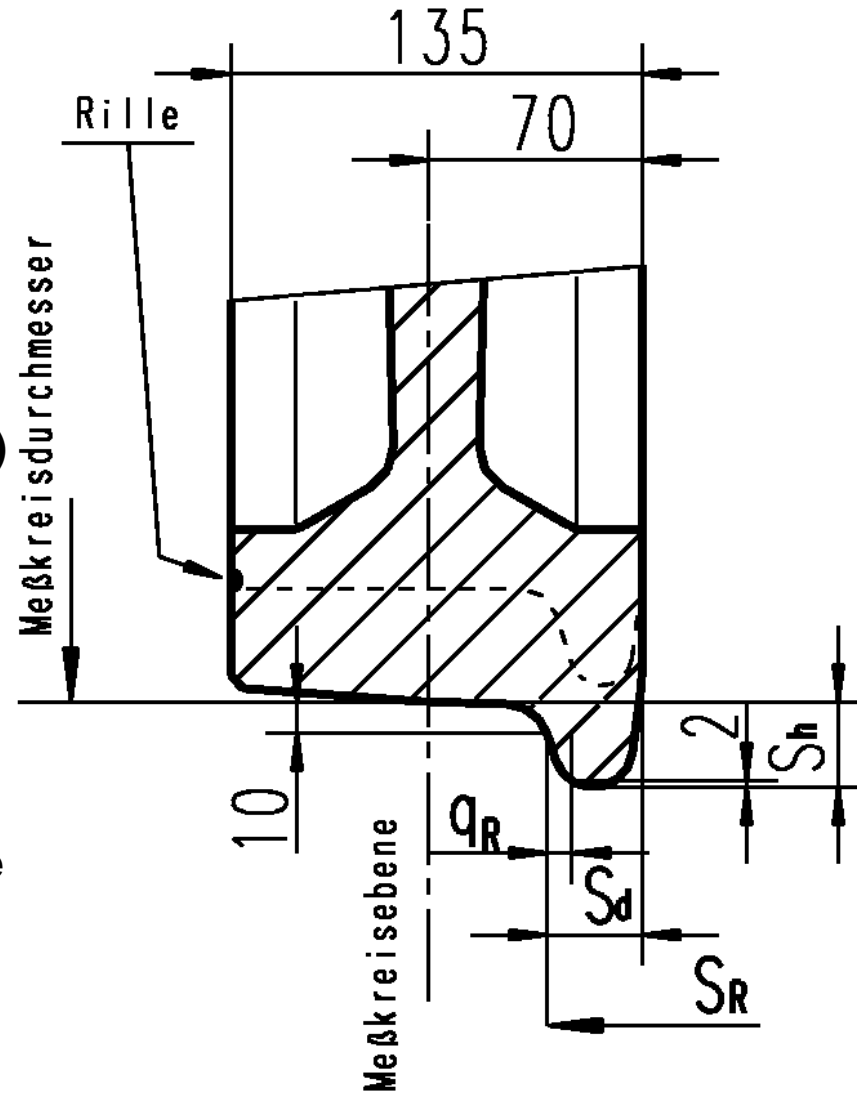


## Wichtige Maße am Radkranz

$S_r$ = Spurmaß	(1425 mm)
$S_d$ = Spurkranzdicke	( 22 mm)
$S_h$ = Spurkranzhöhe	( 32 mm)
$q_r$ = Spurkranzflankenmaß	( 6,5 mm)

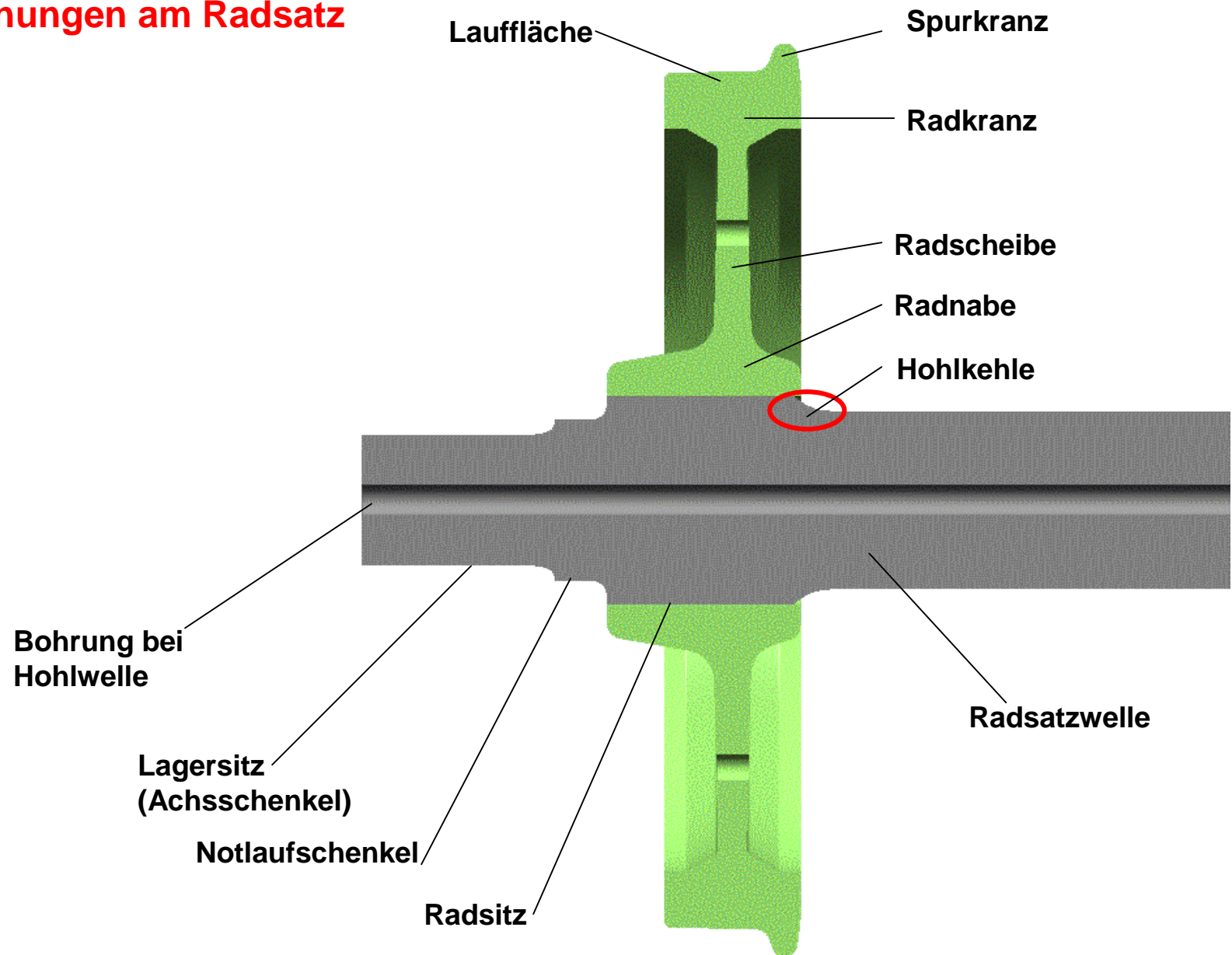
### Wichtig:

Die Rille an der äußeren Radstirnfläche gibt das Betriebsgrenzmaß an.



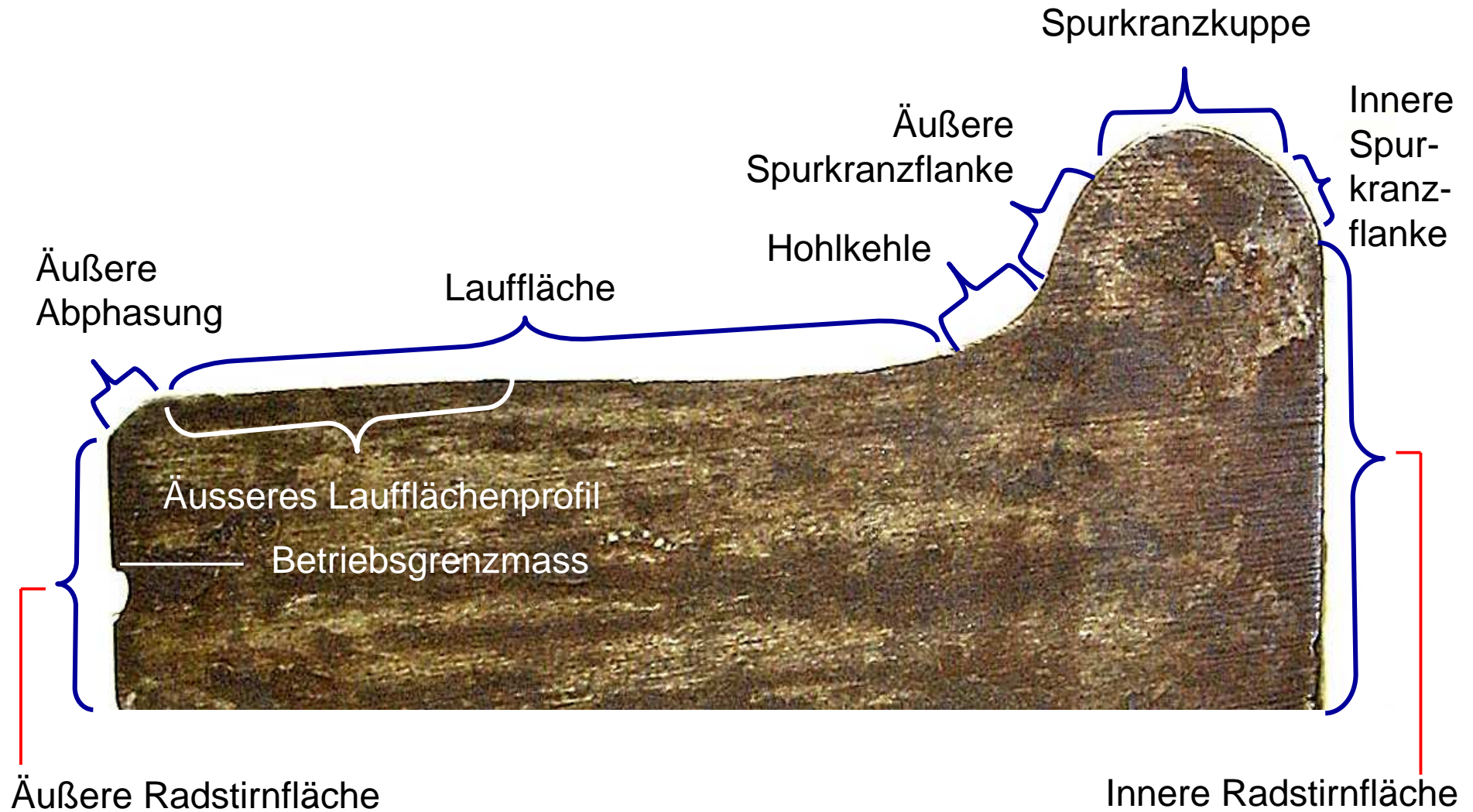


## Bezeichnungen am Radsatz





## Funktionsflächen am Eisenbahnrad

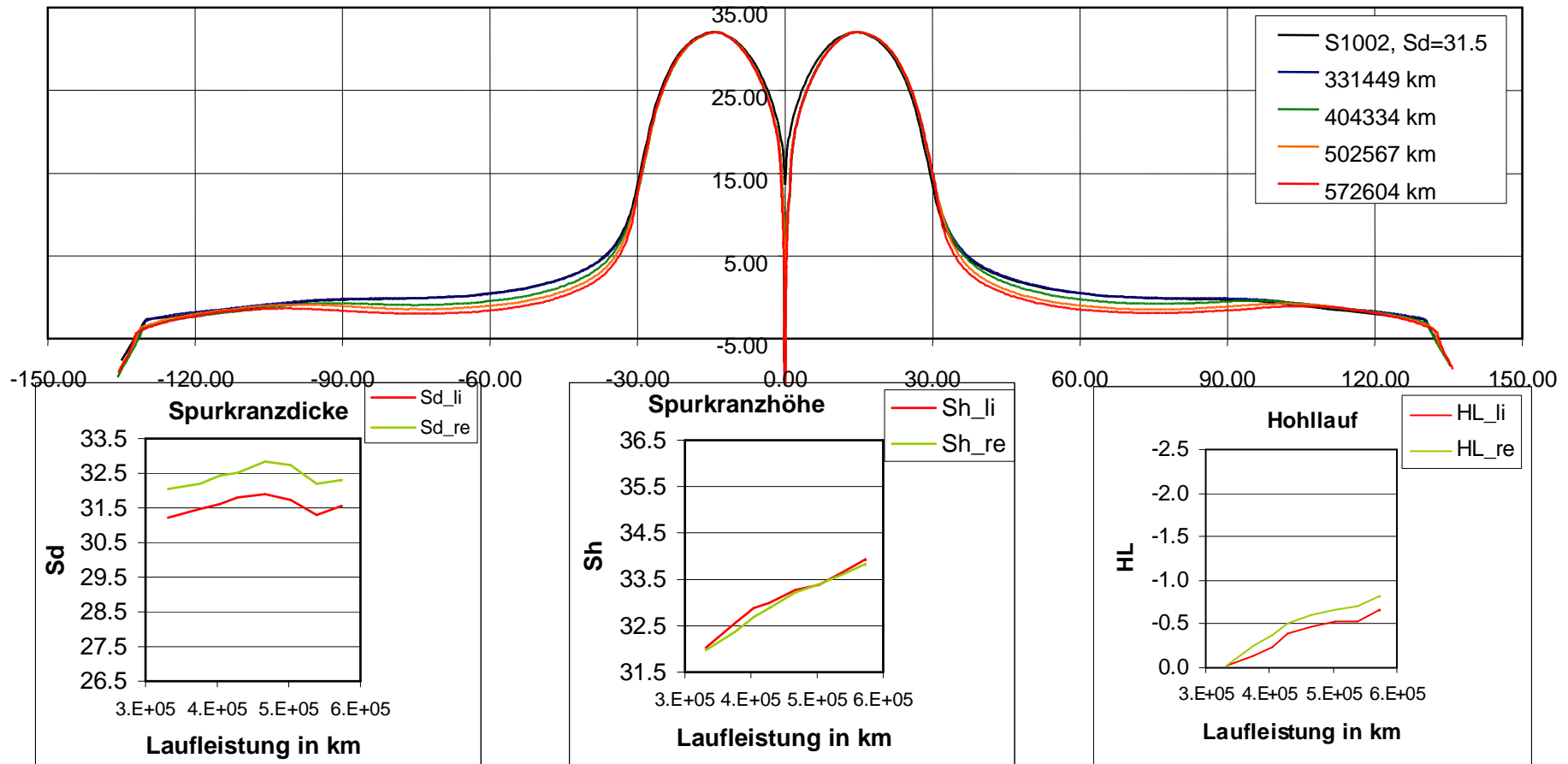






# Beispiel einer Radprofilentwicklung über 241.000 km

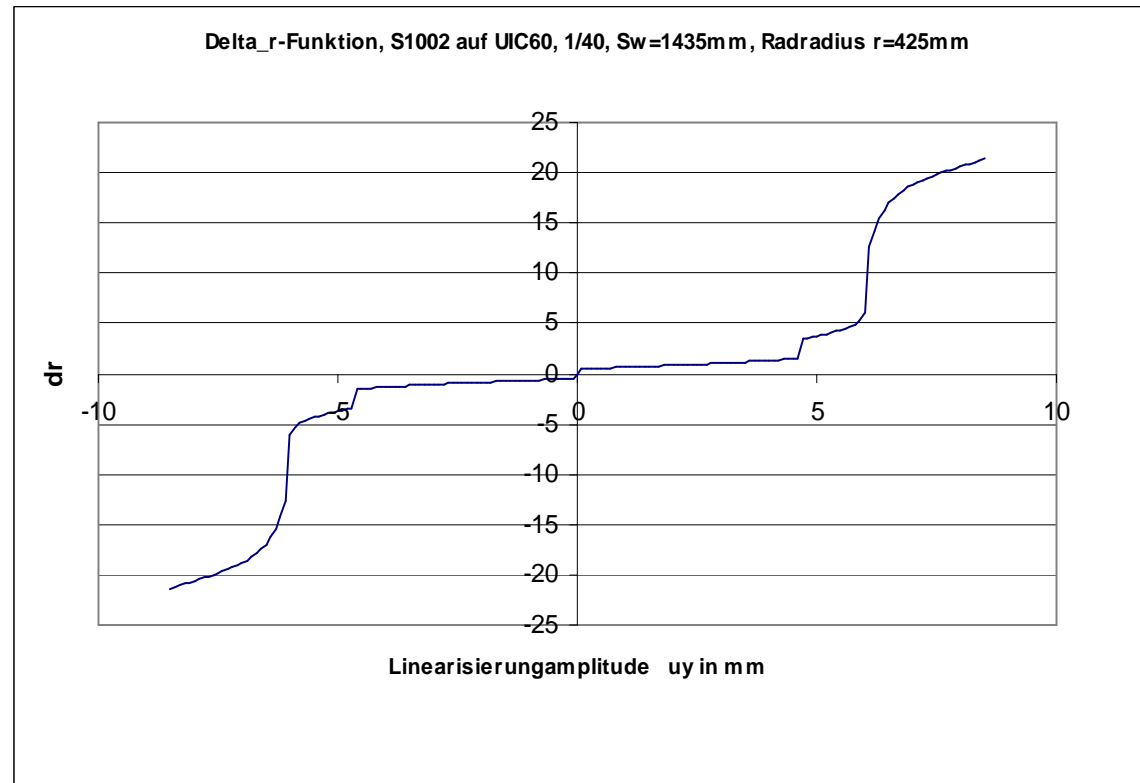
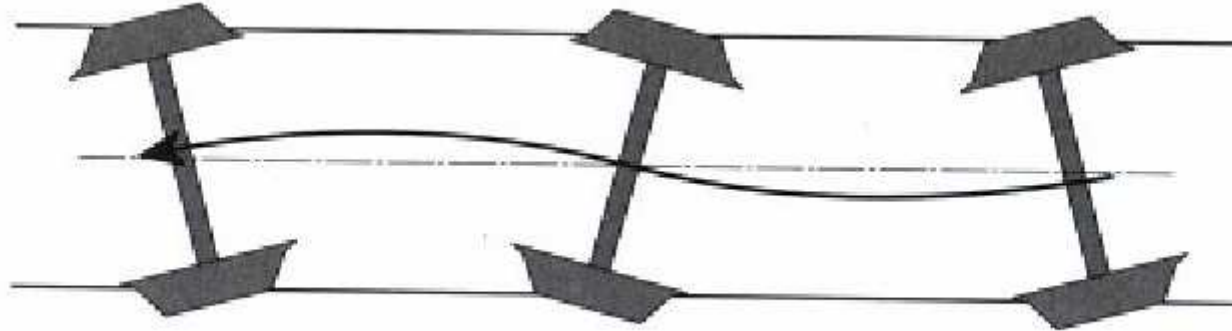
- Spurkranzhöhe
- Spurkranzdicke
- Hohllauf







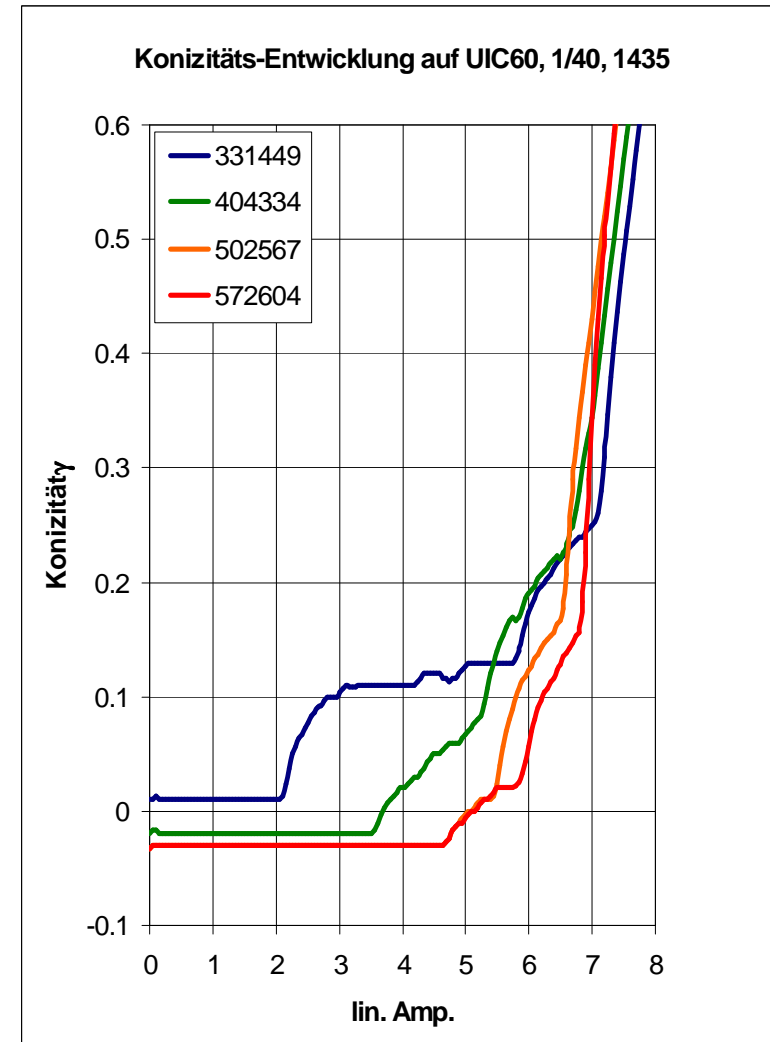
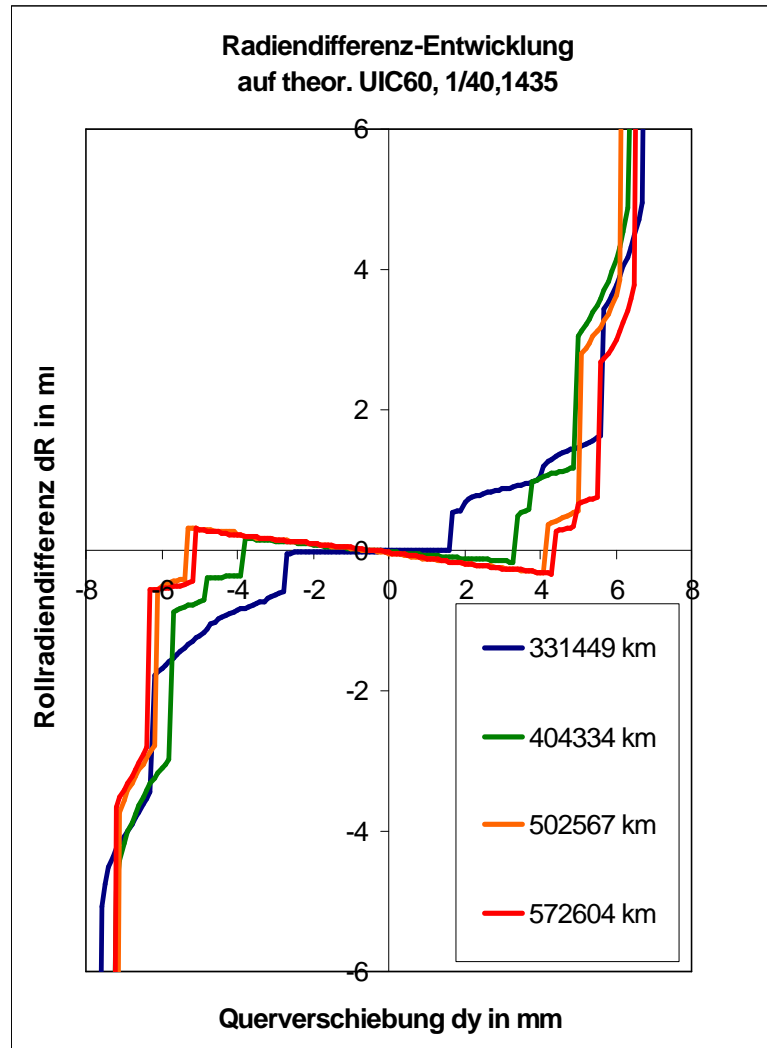
# Sinuslauf des Radsatzes





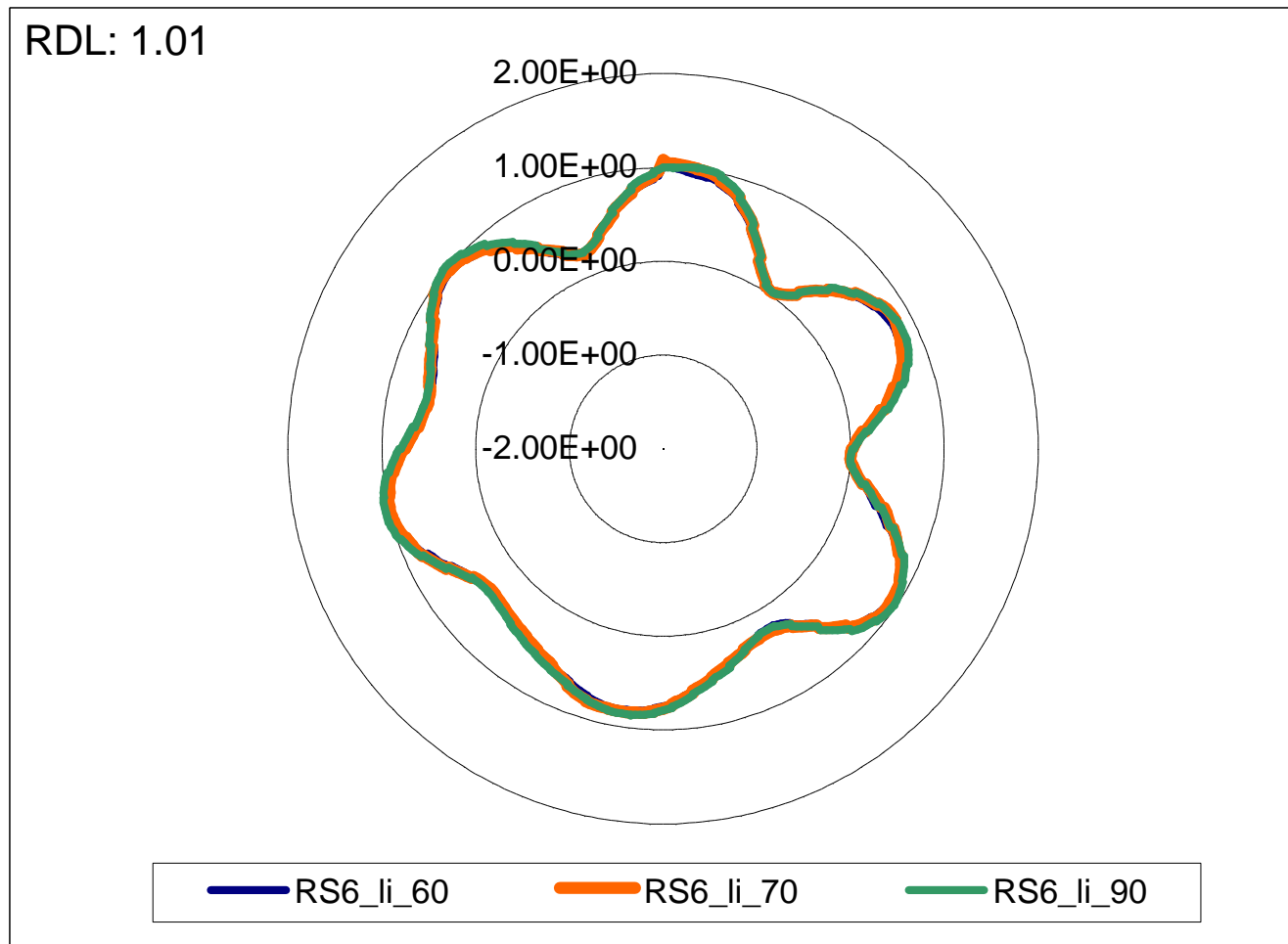
# Beispiel einer Radprofilentwicklung über 241.000 km

- Rollradiendifferenz
- Konizität



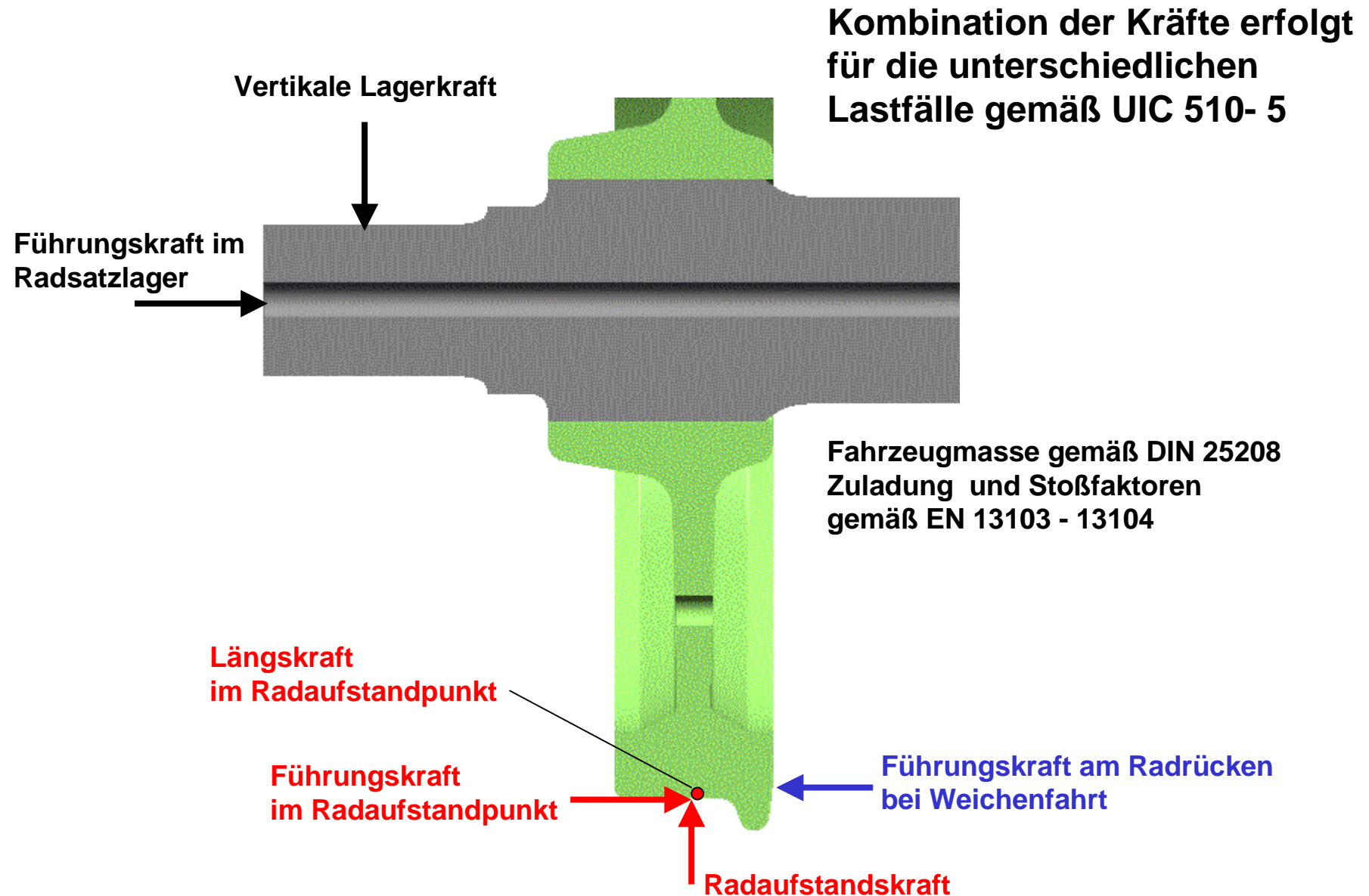


# Unrundes Rad (840 mm Nenndurchmesser)





## Kräfte am Eisenbahnrad





## Kräfte an der Schiene

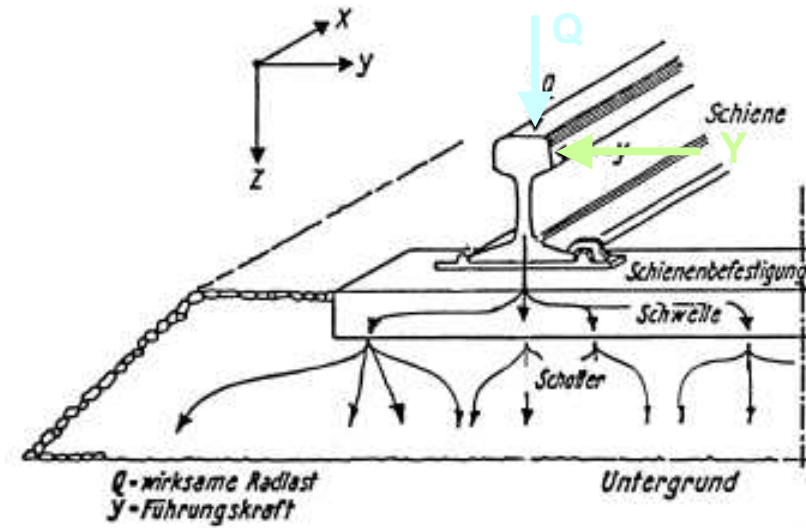
Einfluß der Y- Kräfte  
Querverschiebung des Gleises:

(Prud`homme Wert)

$$\Sigma Y_{2m} \leq k_1 (10kN + 2Q_0/3)$$

Einflußgrößen:

- Verhältnis Y/Q
- Gleisbauart
- Schotterverfestigung
- Spannungszustand der Schiene

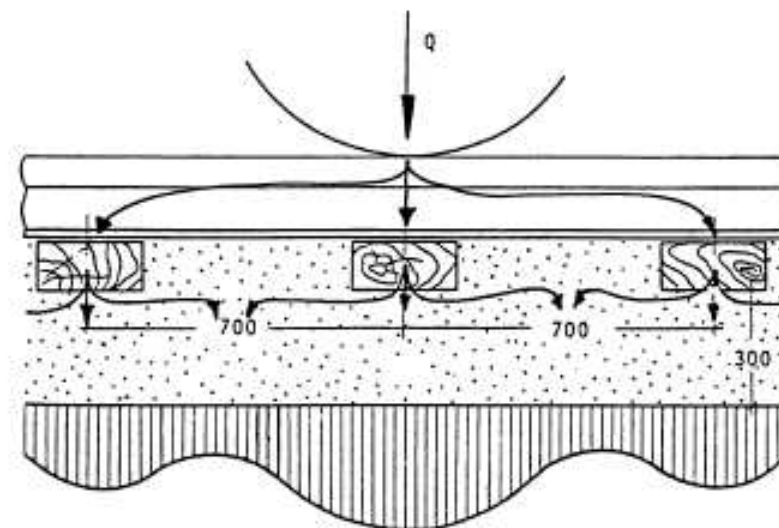


Einfluß der Q-Kräfte  
Bettungsmodul:

$$C = \sigma_0 / s$$

Einflußgrößen:

- Radlast Q
- Schienenprofil
- Schwellenabstand
- Stärke der Schotterschicht
- Tragfähigkeit des Untergrundes





## Kräfte im Radaufstandspunkt

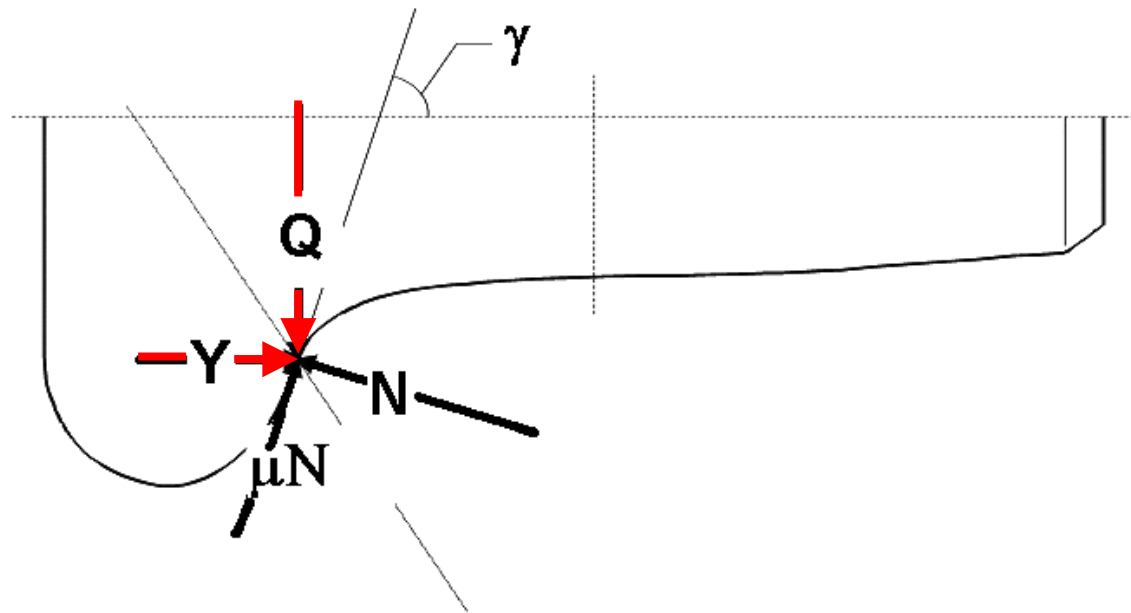
**N** = Normalkraft im Radaufstandspunkt

**Q** = Radlast

**Y** = Führungskraft

$\mu$  = Reibwert Rad/Schiene

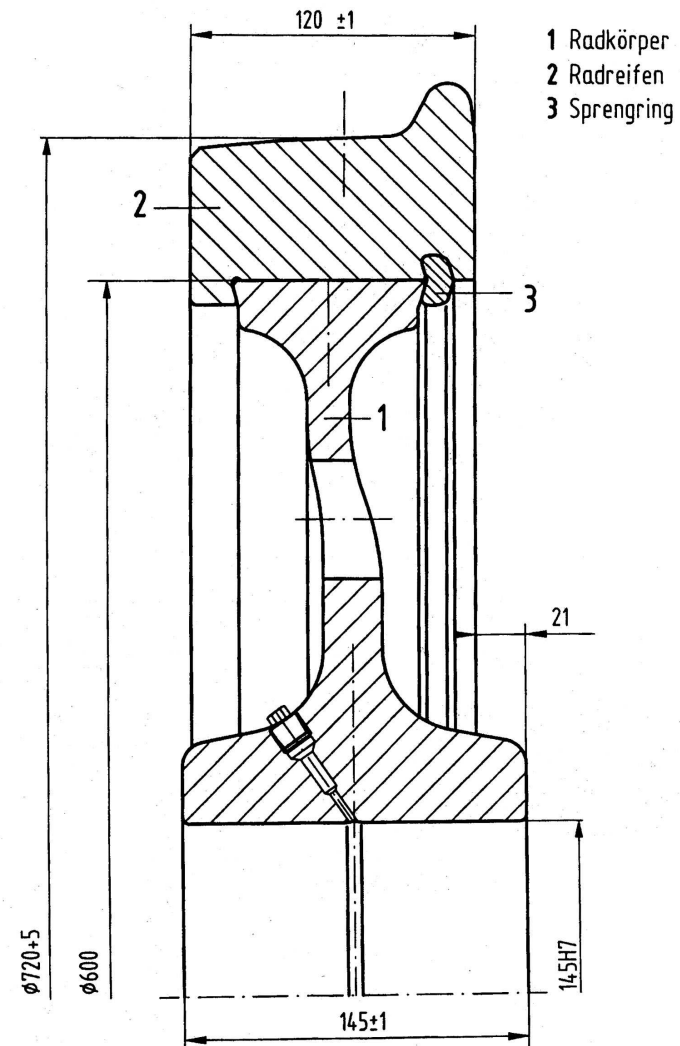
$\gamma$  = Winkel der Berührebene zur Horizontalen (70°)





## Bereiftes Rad

- Einfache Montage des Radreifens durch thermisches Fügen
- geringer Materialeinsatz bei der Neubereifung
- in der Vergangenheit „Die Lösung“ für Triebfahrzeuge
- Empfindlich gegen Wärmeeintrag aus der Klotzbremse
- Heute in Deutschland für den Neubau nicht mehr angewandt

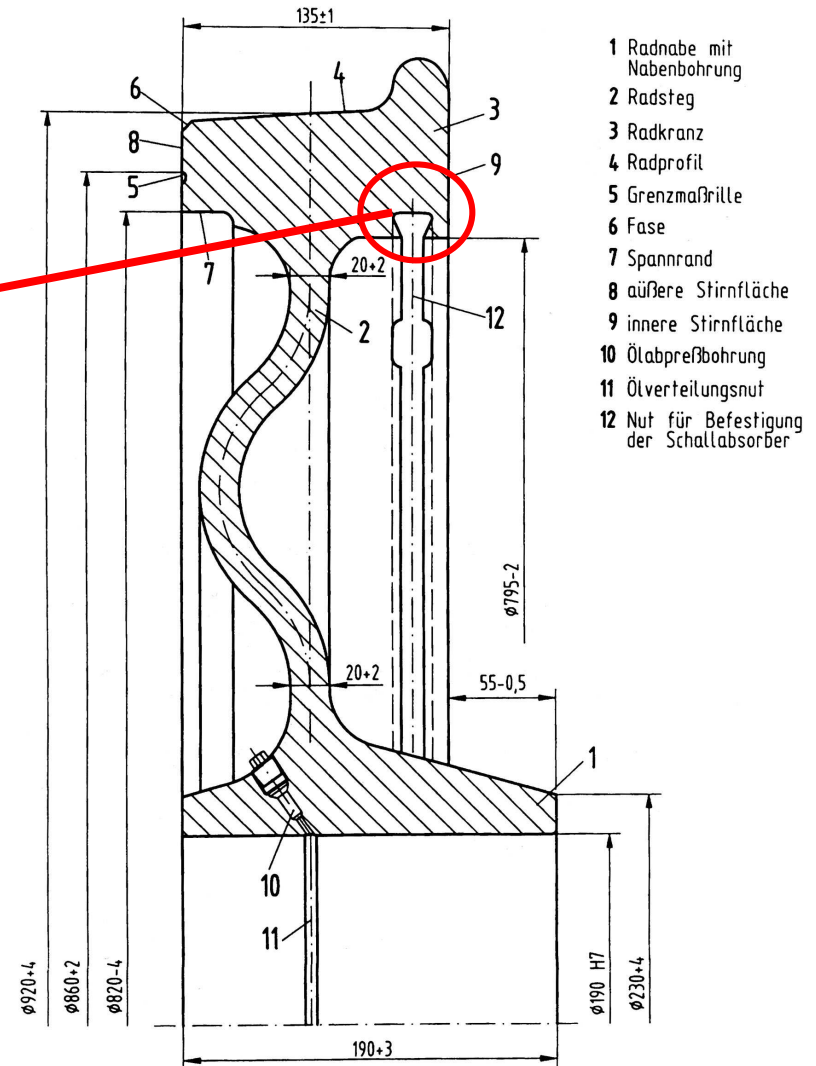






## Vollrad (Monoblockrad)

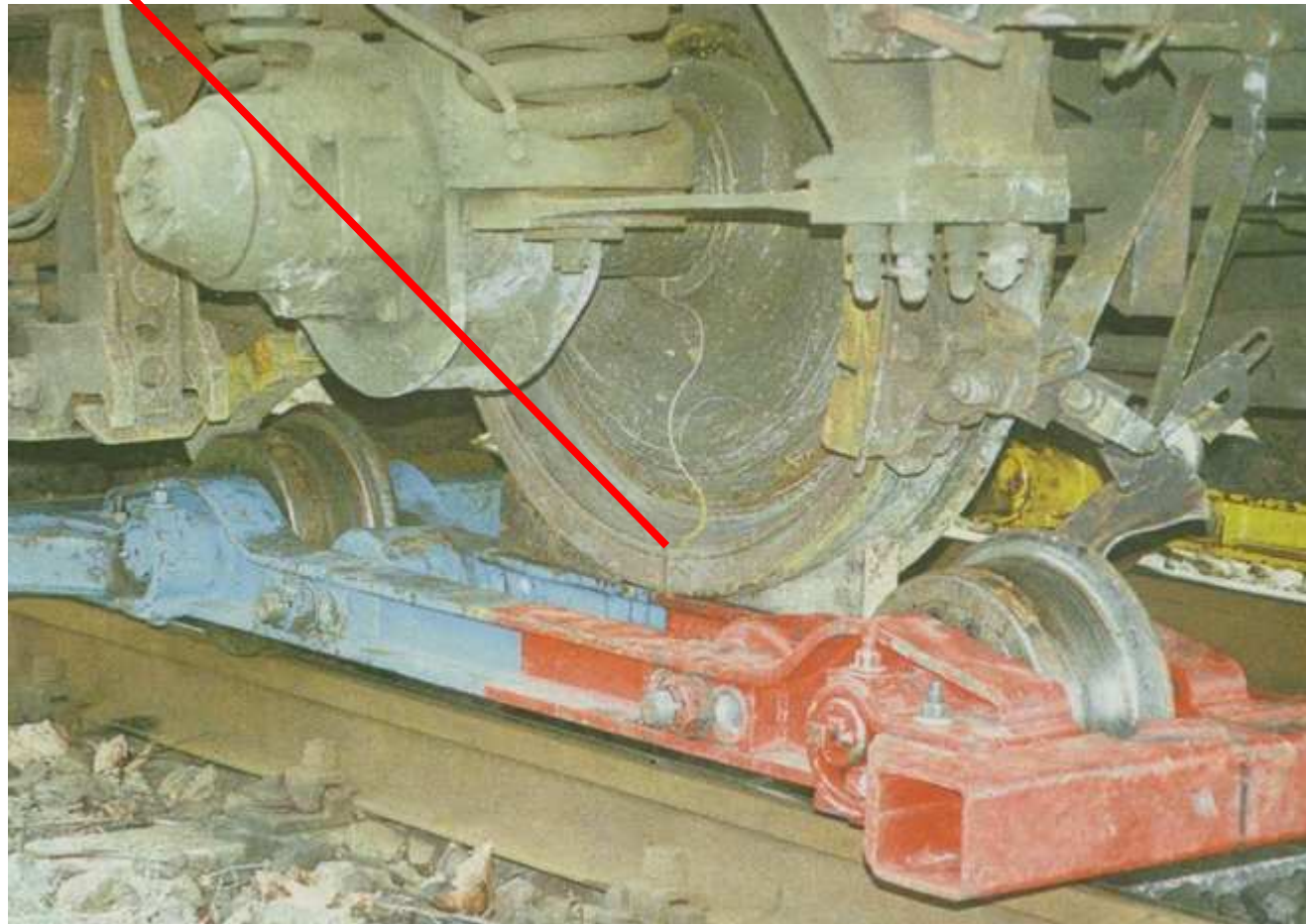
- Bruchgefahr durch Wärmeeintrag der Klotzbremse
- im abgenutzten Zustand Bruchgefahr durch Spankerben und Befestigungsnuten für Schallabsorber
- Veränderung des Ar-Maßes durch Bremswärme
- bei Erreichen der Verschleißgrenze Tausch des kompletten Rades
- Montage durch Aufpressen
- Demontage durch Ölabbpressverfahren





## Gebrochenes Scheibenrad

Durch Bremswärme gebrochenes und auf der Radsatzwelle verschobenes Scheibenrad





## Verlorener Spurkranz

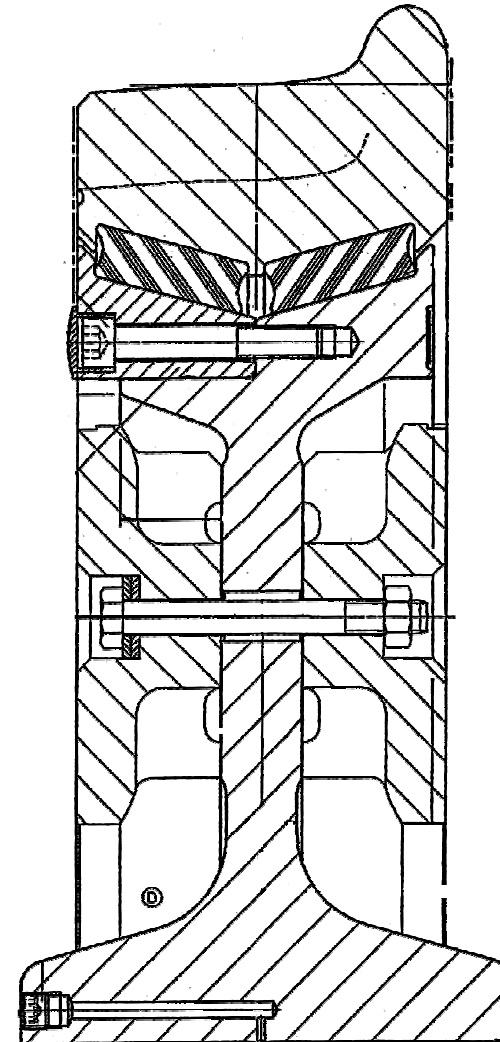
Bruch des Spurkranzes über den Umfang bei Erreichen der Verschleißgrenze.  
Rissausgang im Nutgrund der Schallabsorberbefestigung





## Gummigefedertes V-Rad

- durch Federung im Rad und Eigendämpfung leiser gegenüber Monoblock
- unempfindlicher gegen Unrundheiten
- geringere Fahrwegbeanspruchung durch Federung
- wirtschaftlich in der Instandsetzung
- für Klotzbremse nicht, und für Radscheibenbremse nur bedingt geeignet
- Problematische Schraubenverbindung
- seit Eschede im Vollbahnbereich nicht mehr akzeptiert

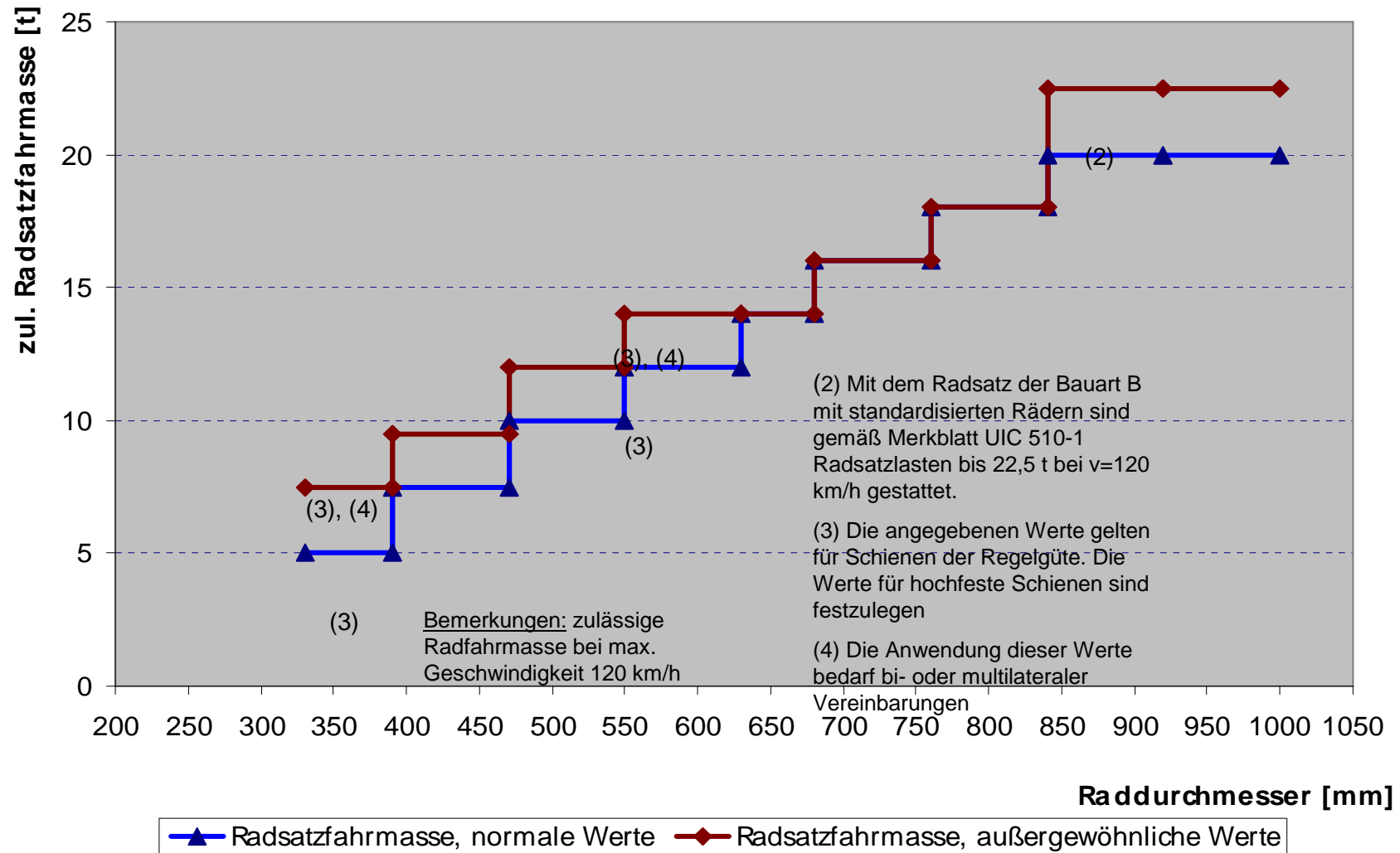






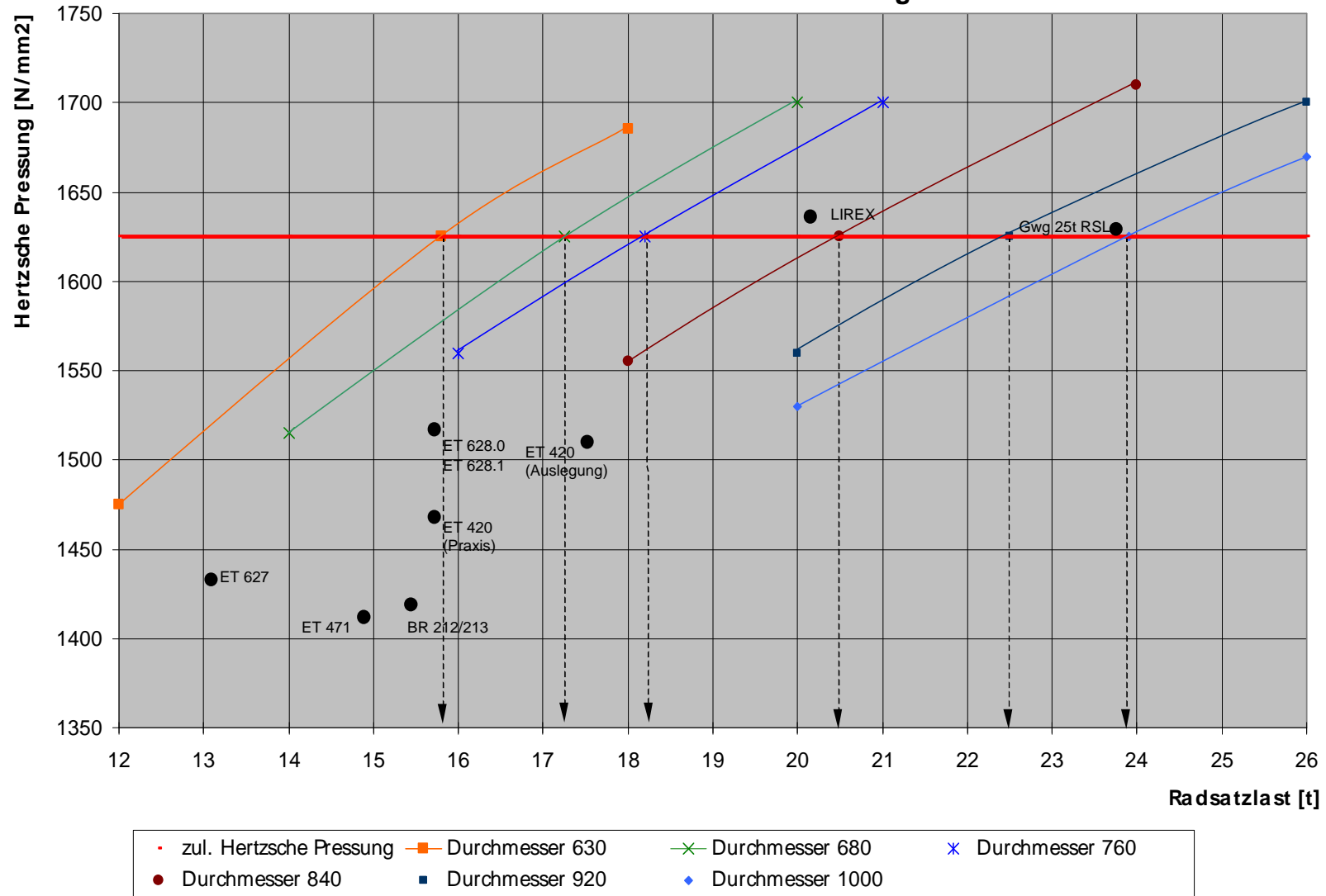


## Zulässige Radsatzfahrmasse gemäß UIC 510-2





## Nomogramm zur Bestimmung der zul. Radsatzlast auf Basis der max. Hertzschen Pressung





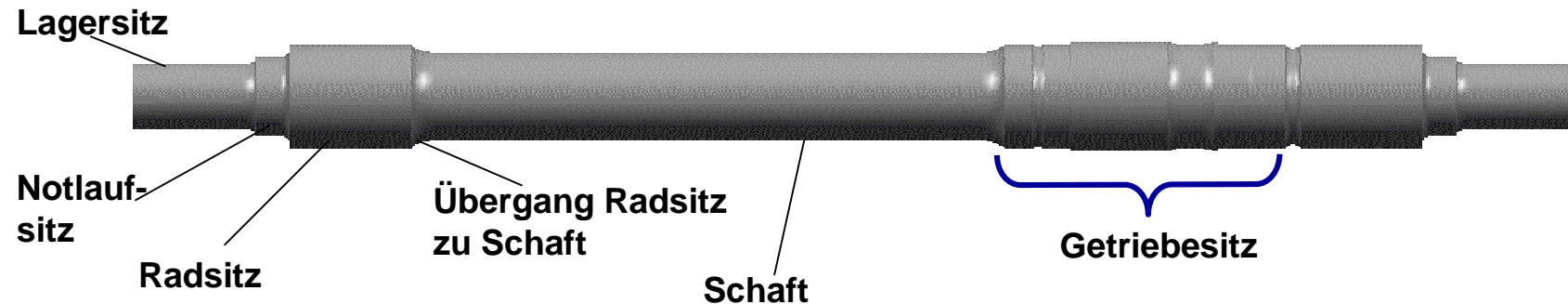


## Stahlsorten für Vollräder

<b>Stahlsorte</b>	<b>C</b> %	<b>Rm</b> N/mm <sup>2</sup>	<b>A</b> %	<b>KU</b> J
R1	0,48	600-720	18	15
R2	0,58	700-840	14	10
R3	0,70	800-940	10	10
R6	0,48 (7)	780-900 (8)	15 (8)	15
R7	0,52	820-940 (8)	14 (8)	15
R8	0,56	860-980 (8)	13(8)	15
R9	0,60	900-1050 (8)	12 (8)	10



## Treibradsatzwelle einer S-Bahn



**Lagersitze** : Form zylindrisch - Durchmesser gemäß Lagerberechnung

**Radsitze** : Form konisch mit Kegel 1:300 - Durchmesser gemäß Wellenberechnung

**Getriebe-sitz**: verschiedene Sitze für Getriebelager und Großrad

### Berechnung der Radsatzwelle nach EN 13103 oder 13104

Unterscheidungen bei der Auslegung:

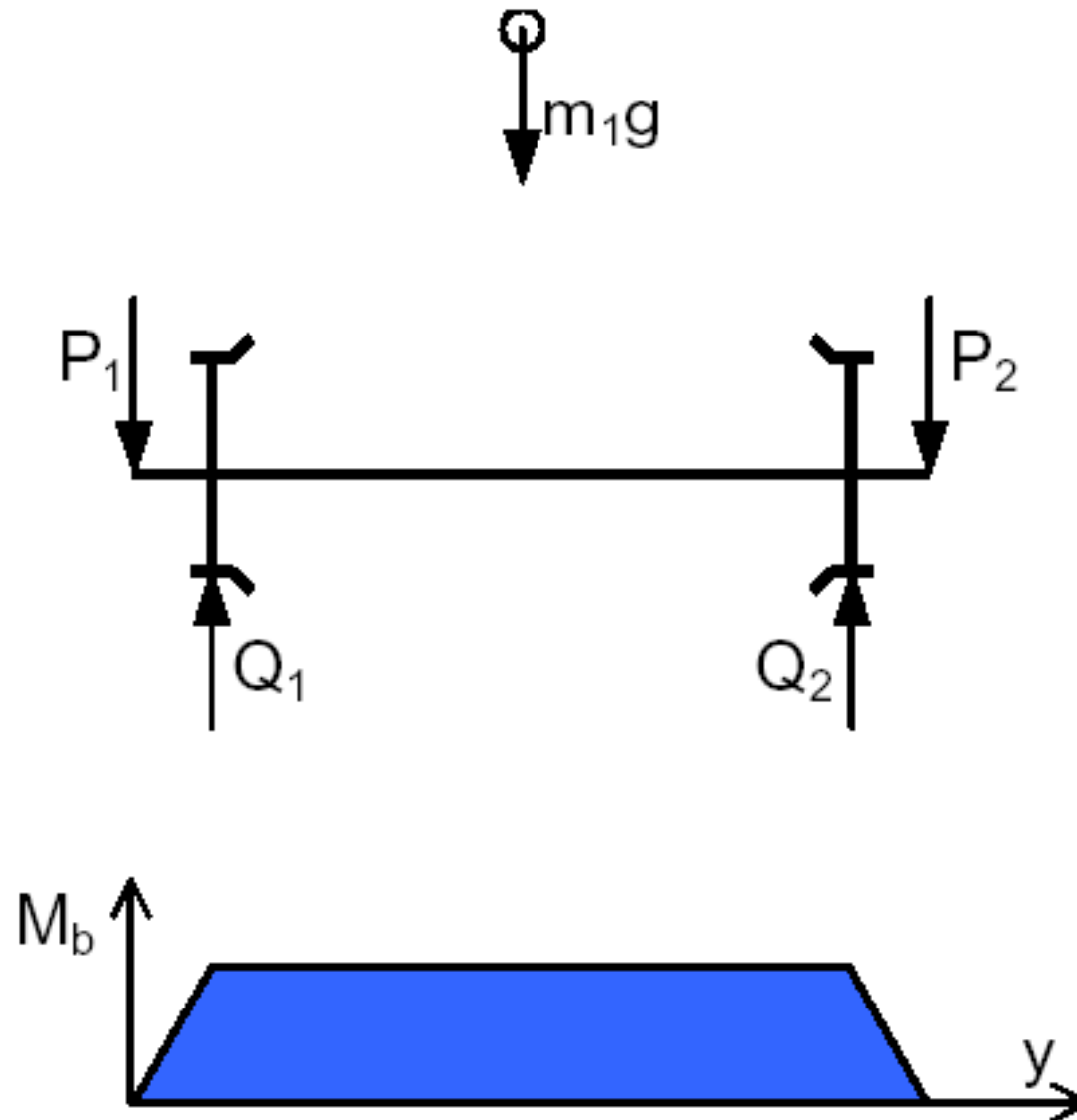
Laufradsätze	S=1,2
Treibradsätze mit Eintrieb auf die Welle	S=1,5
Treibradsätze mit Eintrieb in das Rad	S=1,2 - 1,4

Für Vollwelle und Hohlwelle gelten unterschiedliche zul. Spannungen  
(Wellen mit Prüfbohrung  $D_{\text{Radsitz}}/d < 4$  gelten als Vollwelle)

**Wichtig:** Durchmesser Verhältnis am Übergang Radsitz/Schaft  
muß größer 1,12 sein (Korbbogen nach EN)

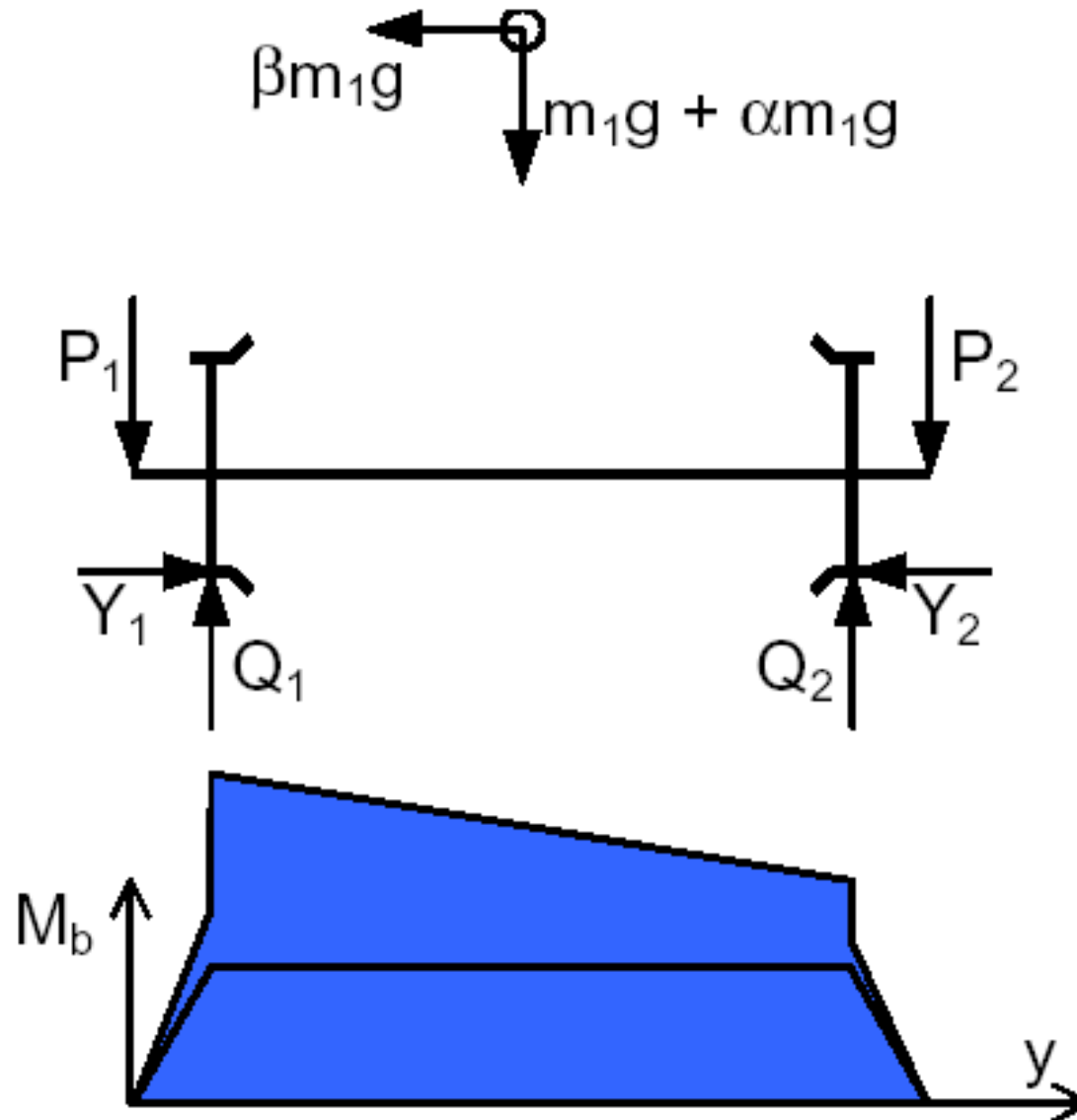


## Biegemomentenverlauf bei Vertikallast



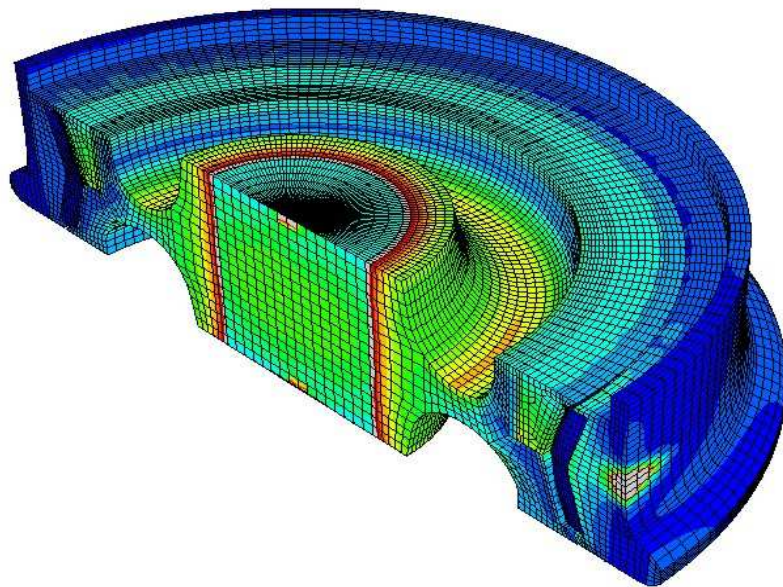


## Biegemomentenverlauf bei Vertikallast und Spurführungskräften

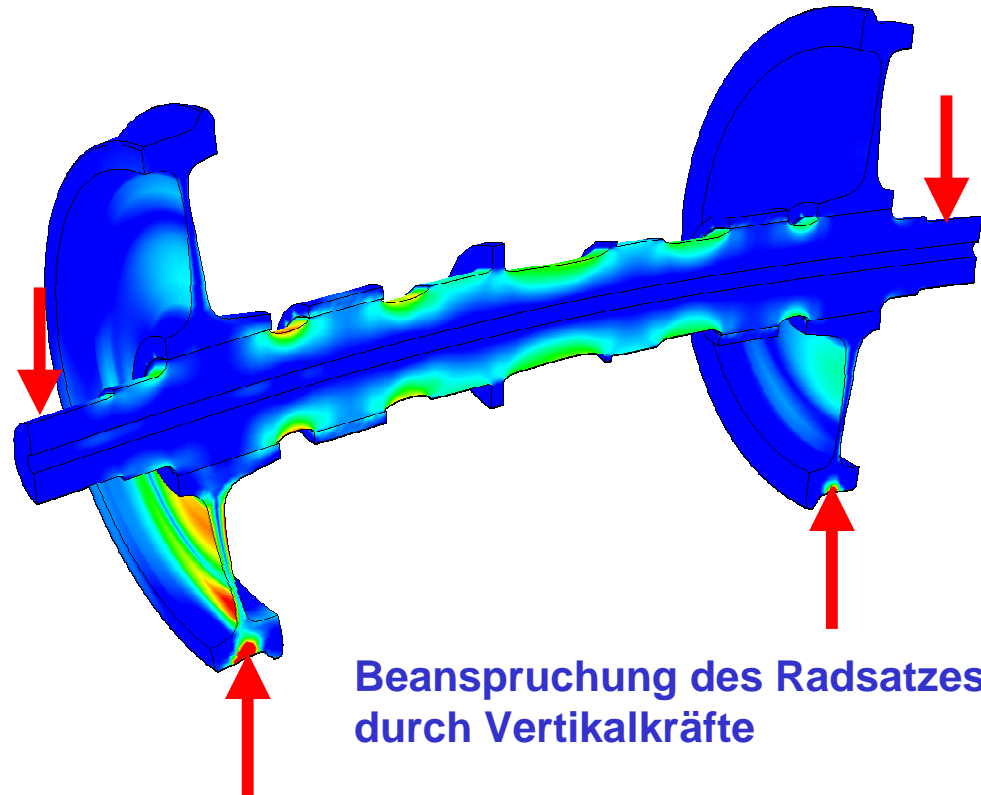




## Beanspruchung bei verschiedenen Lastfällen (FEM-Analyse)



Beanspruchung des Radsitzes durch das Fügeverfahren



Beanspruchung des Radsatzes durch Vertikalkräfte



## Werkstoffe für Radsatzwellen mechanische Kennwerte und Kerbschlagarbeit

Werkstoff		Regelwerk	$R_{eH}$ <sup>1)</sup>	$R_m$	A5	KU längs	zul. Spannung Laufradsatz		zul. Spannung Treibradsatz	
			min		min	min	freie Oberfl.	Sitz	freie Oberfl.	Sitz
			[Mpa]	[Mpa]	[%]	[J]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
EA1N	C35	prEN 13261 2000-11	320	550 - 600	22	30	166	100	133	80
EA4T	25CrMo4	prEN 13261 2000-11	420	650 - 800	18	40	180	110	145	87
A5T	42CrMo4	UIC 811-1 1987-1	510	730 - 880	14	25	--	--	--	--
. / .	34CrNiMo 6 + QT (1.6582)	EN 10083-1 1996-8	700	900 - 1100	12	45	229	137	183	110
			600	800 - 950	13	45				

1) wenn offenkundig  $R_{eH}$  nicht vorhanden, dann klassische Grenze  $R_{p0,2}$

N = normalgeglühter Zustand

T = vergüteter Zustand

+ QT = vergüteter Zustand

**Achtung: Festigkeitswerte werden z.Z. überarbeitet**



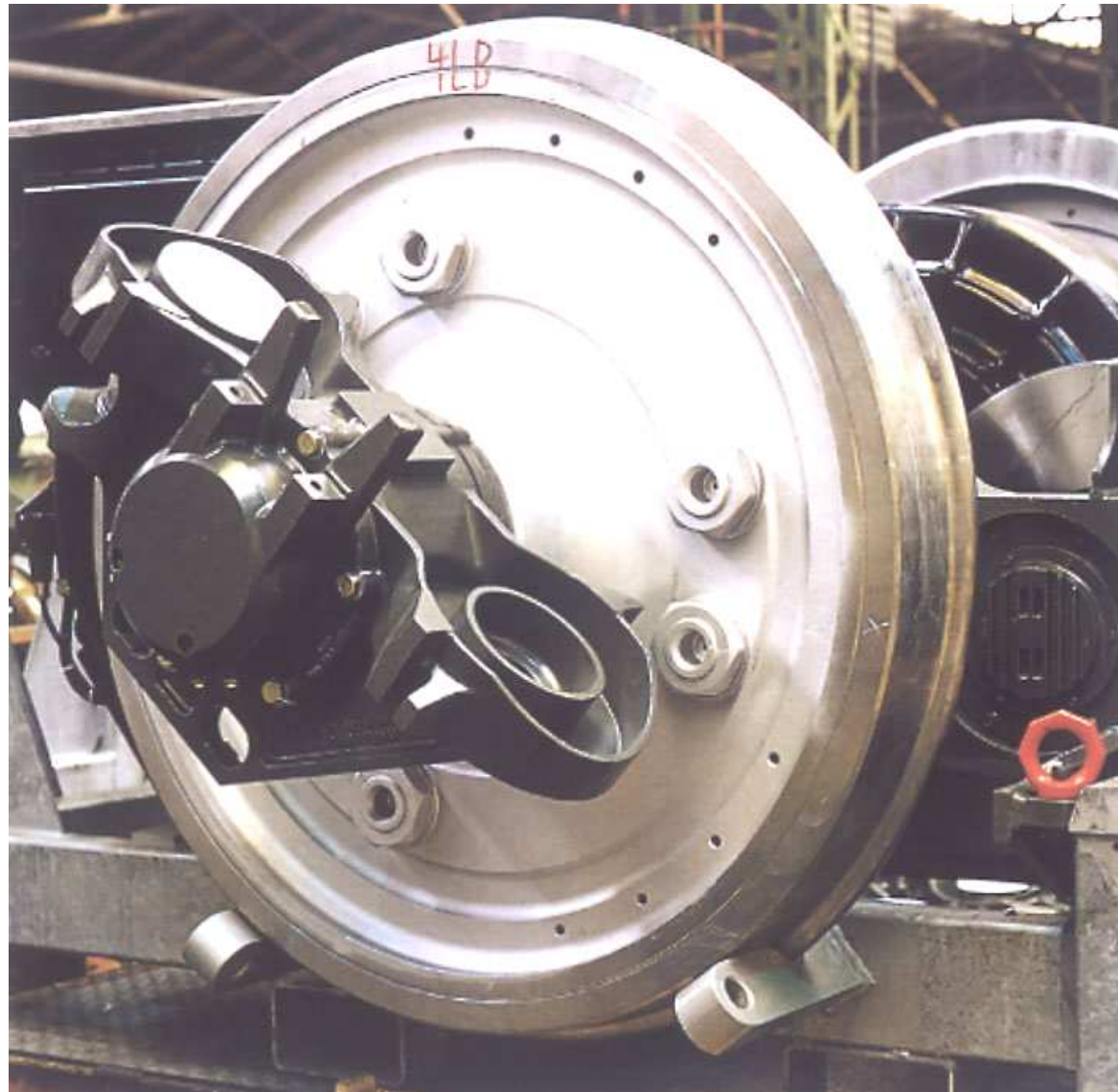
# Fahrwerke

## Radsatzlager





## Treibradsatz mit Radsatzlager



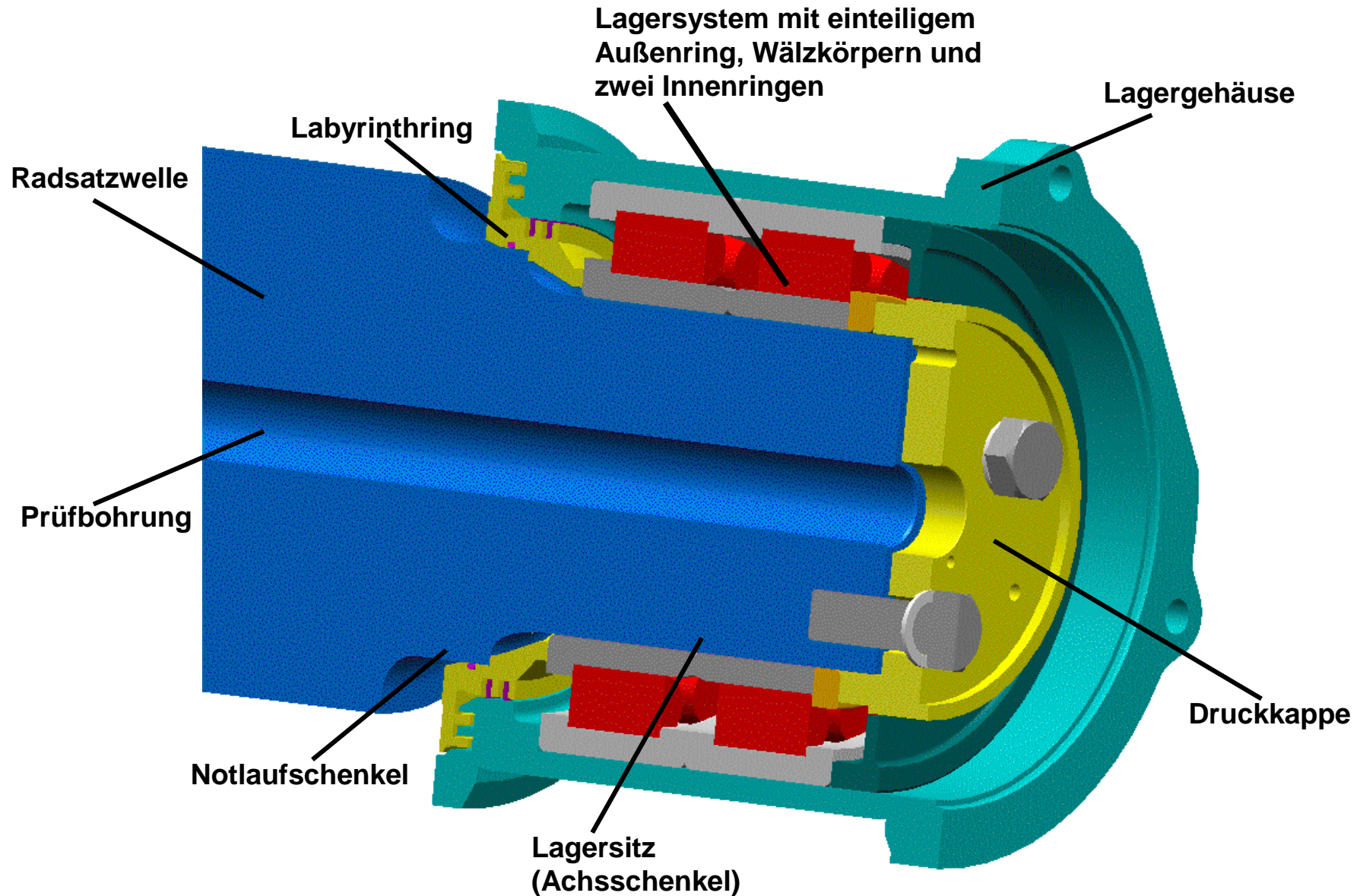


## Aufgaben des Radsatzlagergehäuses

- **Schutz des Lagersystems vor Witterungseinflüssen**
- **Auflagerpunkt für die Primärfederung**
- **Übertragung der Längs- und Querkräfte aus dem Lager zum Drehgestellrahmen**
- **Montagefläche für unterschiedliche Übertrager und Sensoren ( Erdungskontakte, Drehzahlsensor usw. )**
- **Wärmeableitung der Verlustleistung aus dem Lager ( Heißläuferortung )**
- **verwendete Werkstoffe für Radsatzlagergehäuse**
  - **Aluminiumguß**
  - **Grauguß**
  - **Stahlguß**



# Radsatzlager





## Gebrochener Lagerschenkel

Lagergehäuse durch Notlauf auf dem Notlaufschenkel thermisch verformt.







## Radsatzlager

### Anforderungen an Radsatzlager:

- hohe Betriebssicherheit  
Erwärmung bis max. 60-70°C
- geringer Reibwert  
< 0,002
- lange Nutzungsdauer  
> 2 Mio. km
- geringer Wartungsaufwand  
keine Einstellarbeiten und  
Tauschbarkeit der Bauteile
- einfache Montage

### Lagerbauarten:

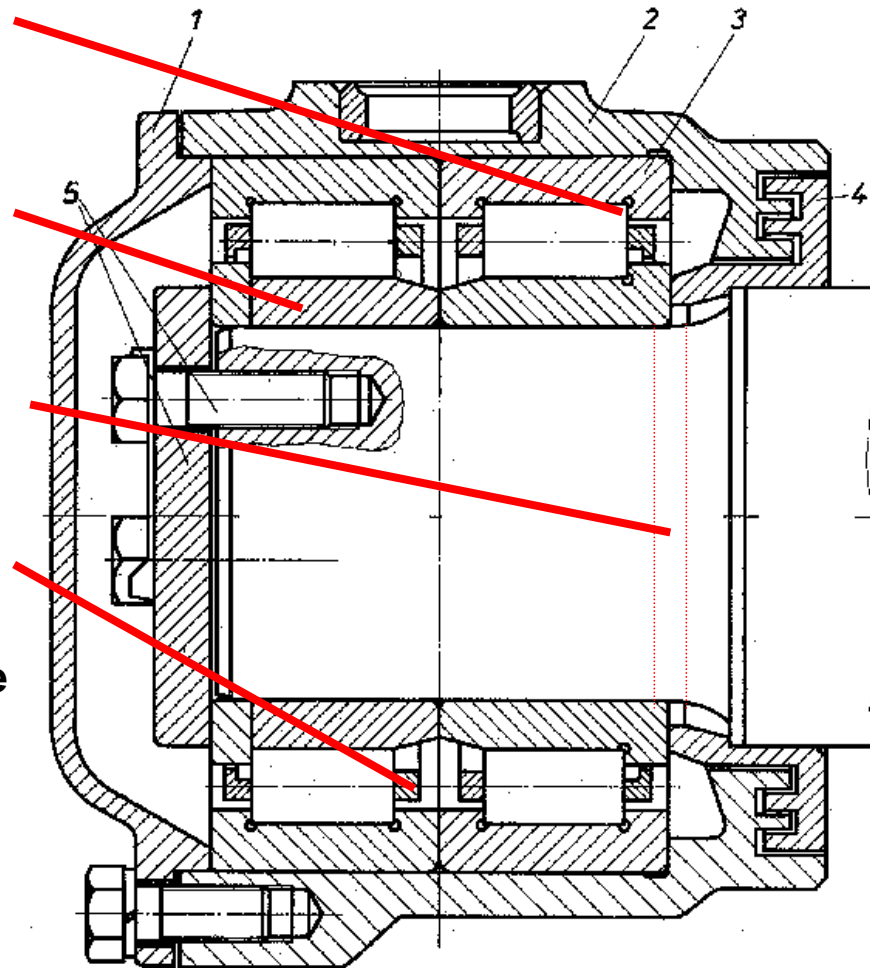
- **Zylinderrollenlager**  
Anwendung überwiegend in  
Mitteleuropa
- **Pendelrollenlager**  
nur noch in älteren Fahr-  
zeugen im Einsatz
- **Kegelrollenlager**  
Anwendung im Rest  
der Welt

- **Wartungsintervalle sind durch die Lebensdauer des Lagerfettes vorgegeben**
- **klimatische Einflüsse und das Dichtungssystem beeinflussen die Lebensdauer des Lagerfettes**
- **Stromdurchgang durch die Lager - insbesondere bei Gleichstrombahnen- zerstören die Lager**
- **unter dem Einfluß großer dynamischer Kräfte (unrunde Räder) wird das Lagerfett unbrauchbar (Entölung)**



## Zylinderrollenlager

- Übertragung der Querkräfte über die Borde
- Verspannung der Innenringe und des Labyrinthrings über die Druckkappe
- Hinterschliff von ca. 0,02 mm um Kantenpressung zu vermeiden
- Führungskäfig für die Wälzkörper aus Polyamid
- Einfache Montage und Demontage

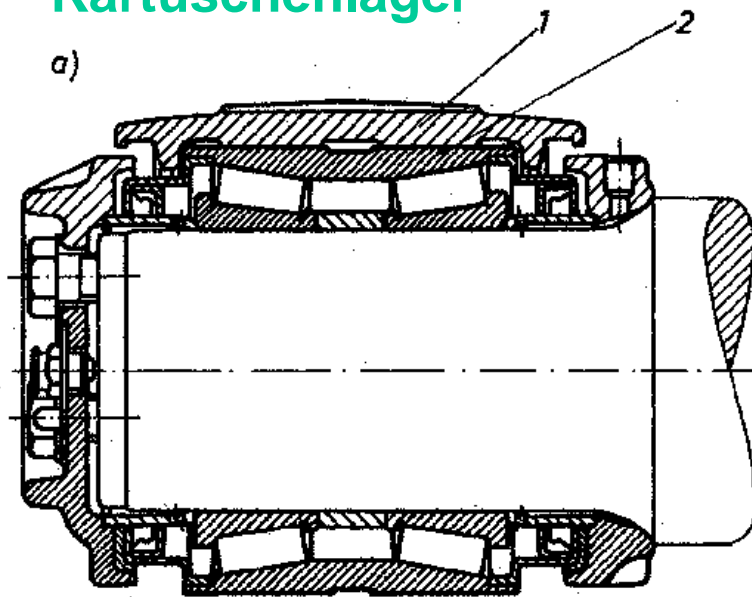




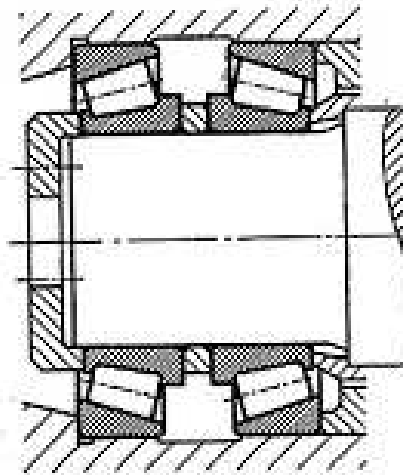
## Kegelrollenlager

- Einstellung der Lagerluft notwendig
- nur als Gesamtsystem montierbar
- Demontage durch Abziehen
- im Durchschnitt  $10^{\circ}\text{C}$  wärmer gegenüber Zylinderrollenlager

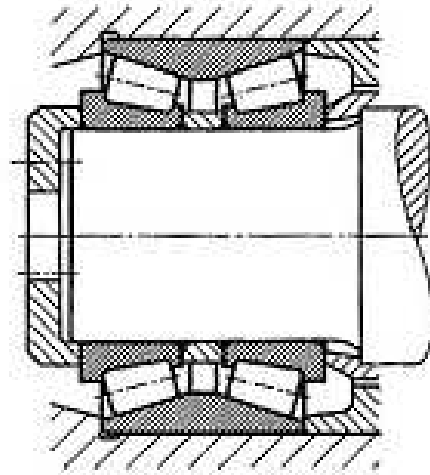
### Kartuschenlager



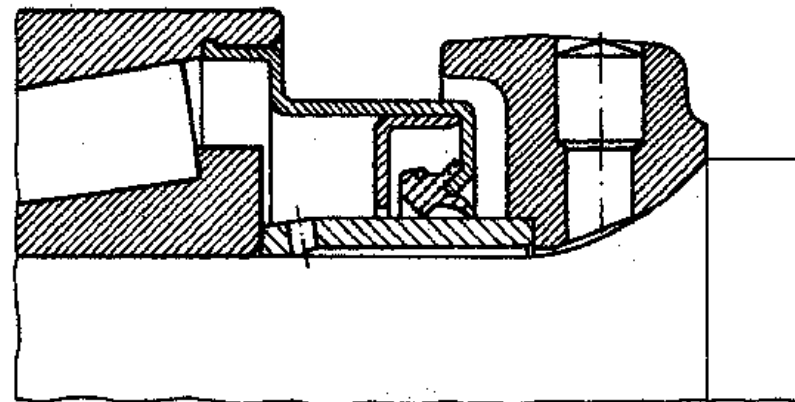
### X-Anordnung



### O-Anordnung



b)

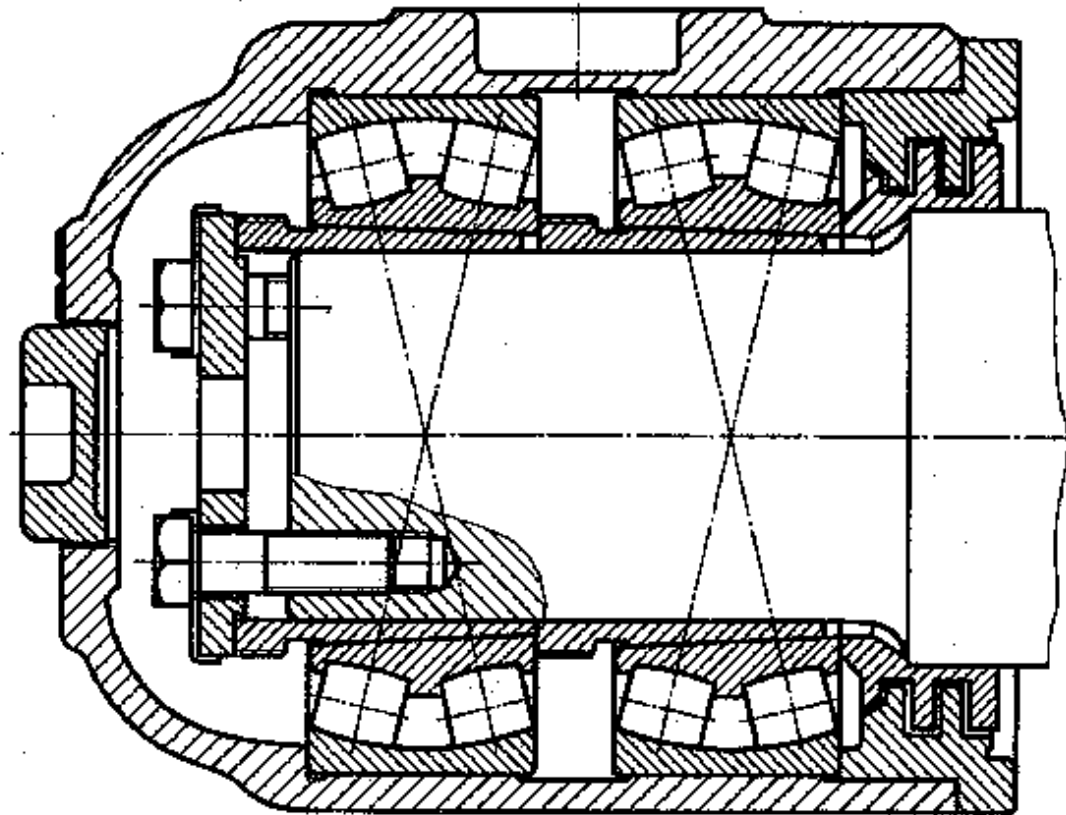






## Pendelrollenlager

- gute Einstellbarkeit bei Winkelfehlern  
(Durchbiegung der Welle)
- geringe Kantenpressung auf  
Lagerschenkel
- schwierige Montage
- Einsatz nur noch in  
Altfahrzeugen



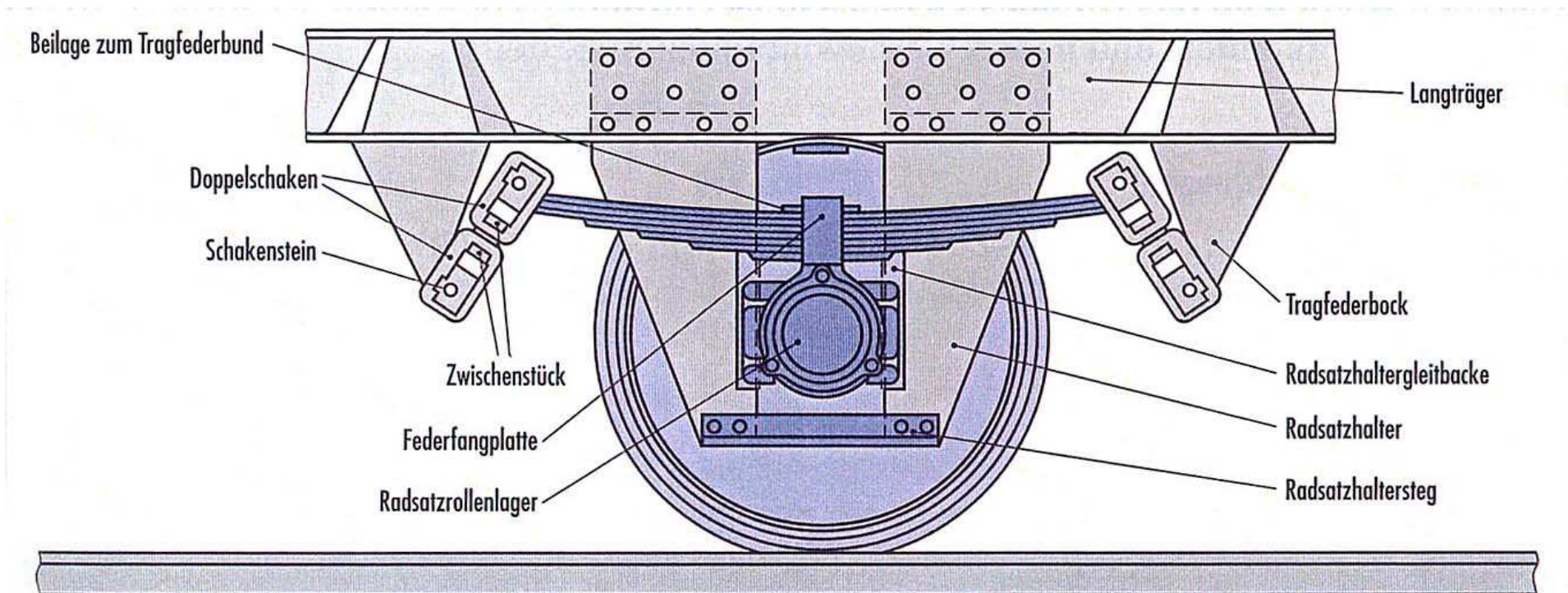


# Fahrwerke

# Radsatzführungen

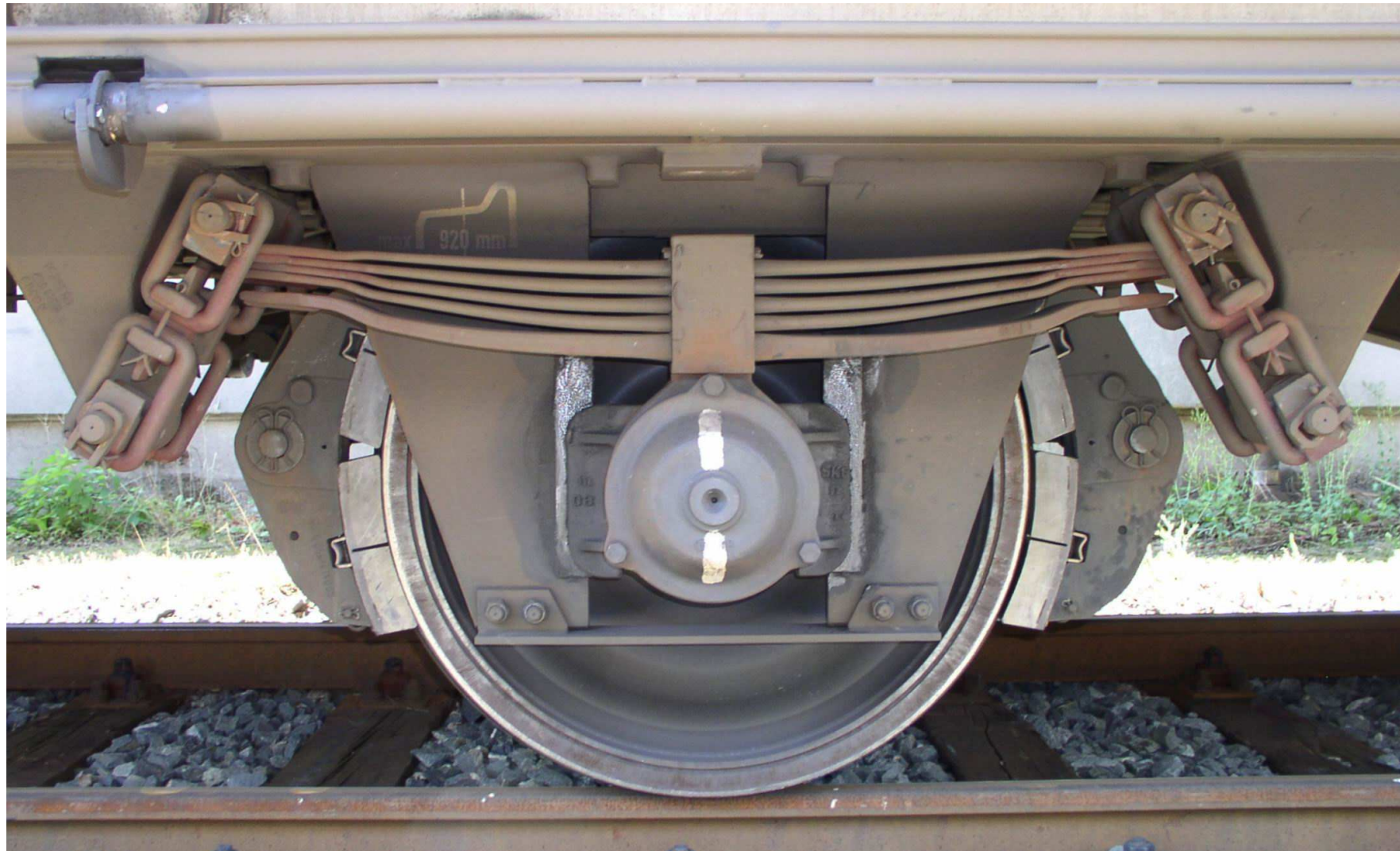


## Freier Lenkradsatz





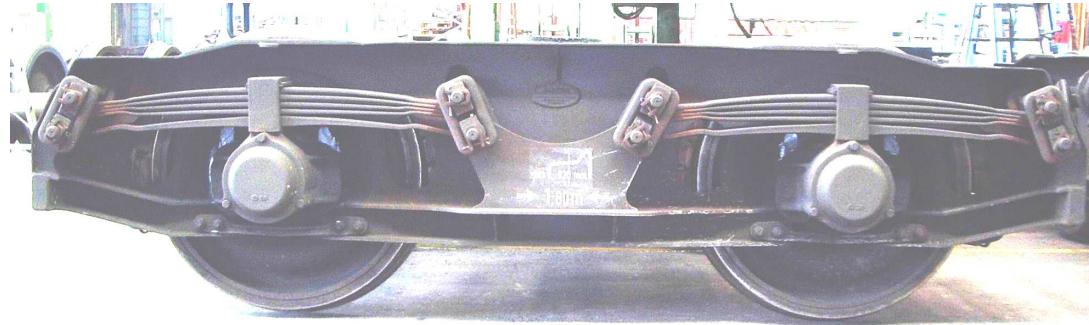
# Radsatzführung eine 2-achsigen Standardgüterwagen Parabelfeder mit Schakengehänge







## Güterwagendrehgestell mit Blattfeder BA 642



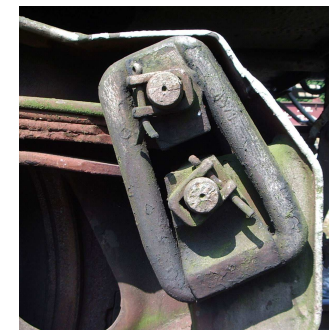
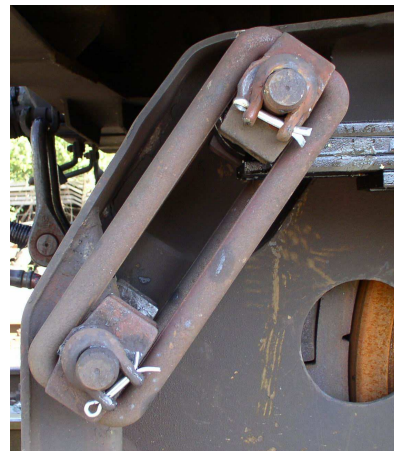
- Parabelfeder für die Vertikalfederung mit Reibdämpfung
- Längs- und Querfederung durch Pendelaufhängung mit Dämpfung durch Bolzenreibung
- Federwege:

$$z = 85 \text{ mm}$$

$$y = \pm 23 \text{ mm}$$

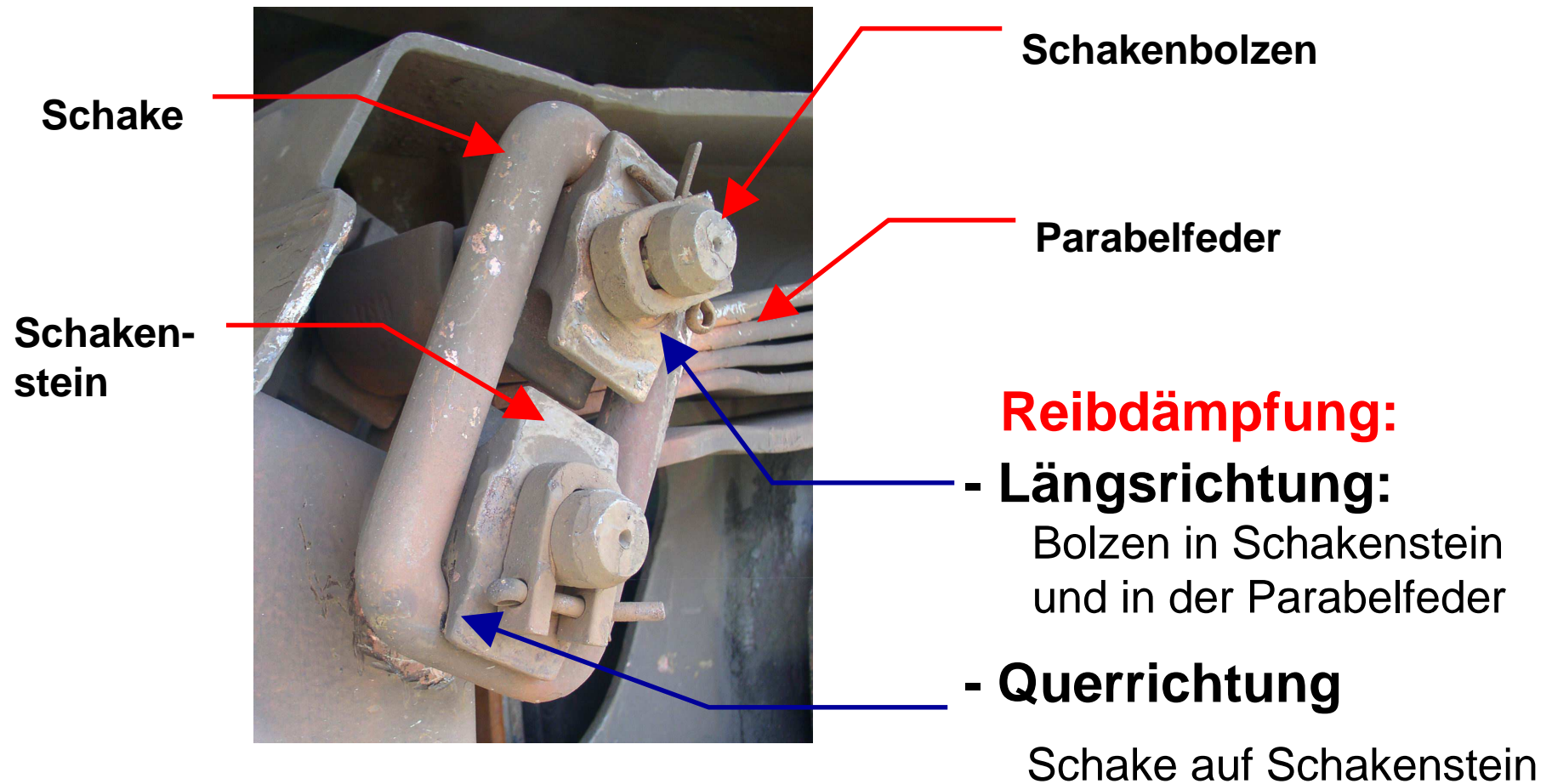
$$x = \pm 6 \text{ mm}$$

Verschiedene Schakenformen für die pendelnde Aufhängung des Dg-Rahmen an der Feder





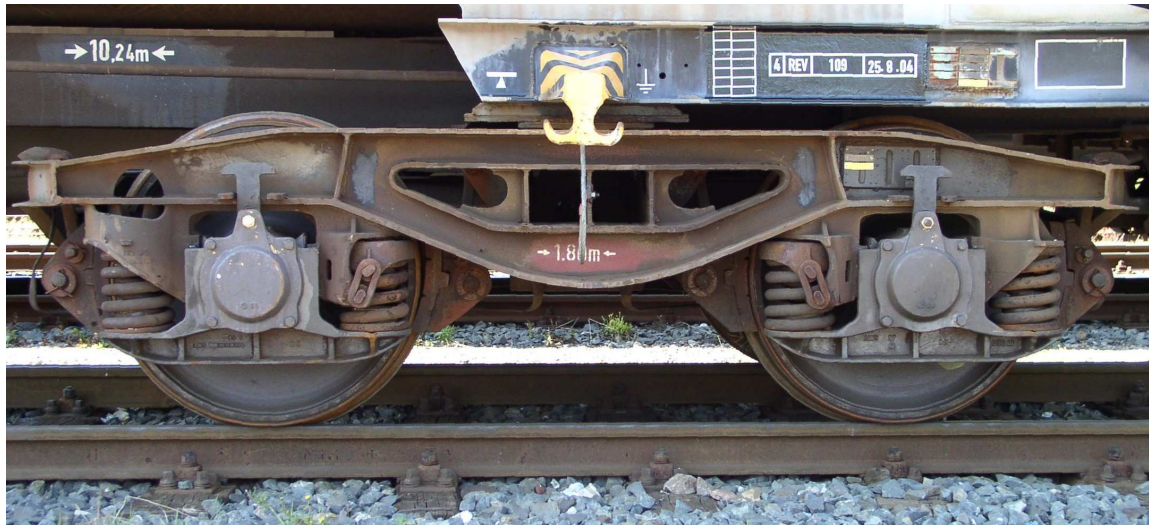
## Schakenaufhängung







## Güterwagendrehgestell Y25

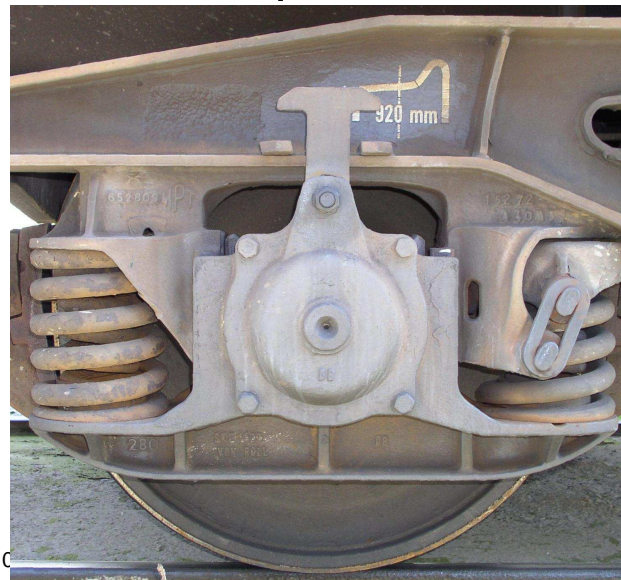


- Radsatzführung des Drehgestells Y25 mit Schraubenfeder und Lenoir-Dämpfer
- Federwege:

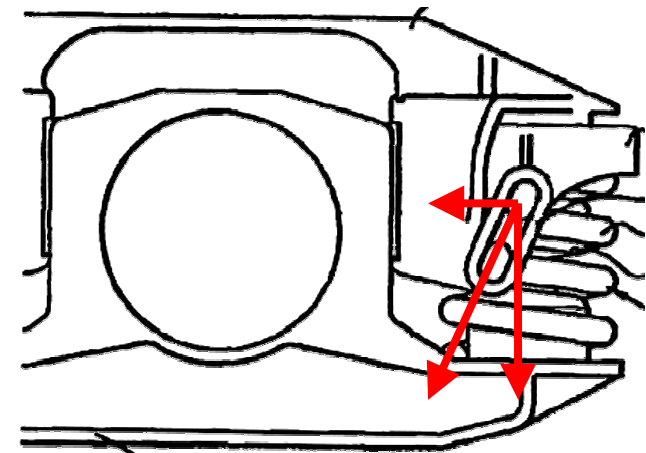
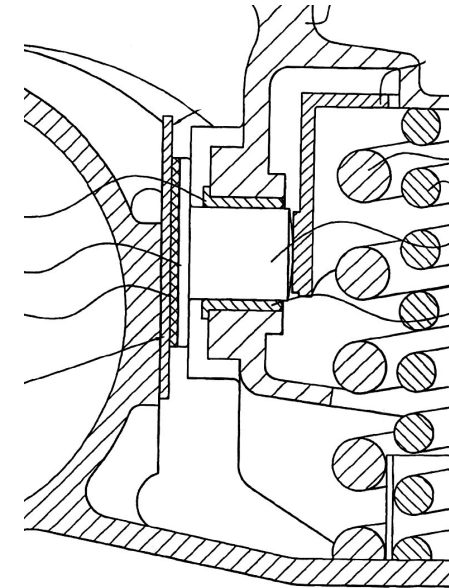
$$z = 60 \text{ mm}$$

$$y = \pm 10 \text{ mm}$$

$$x = \pm 4 \text{ mm}$$



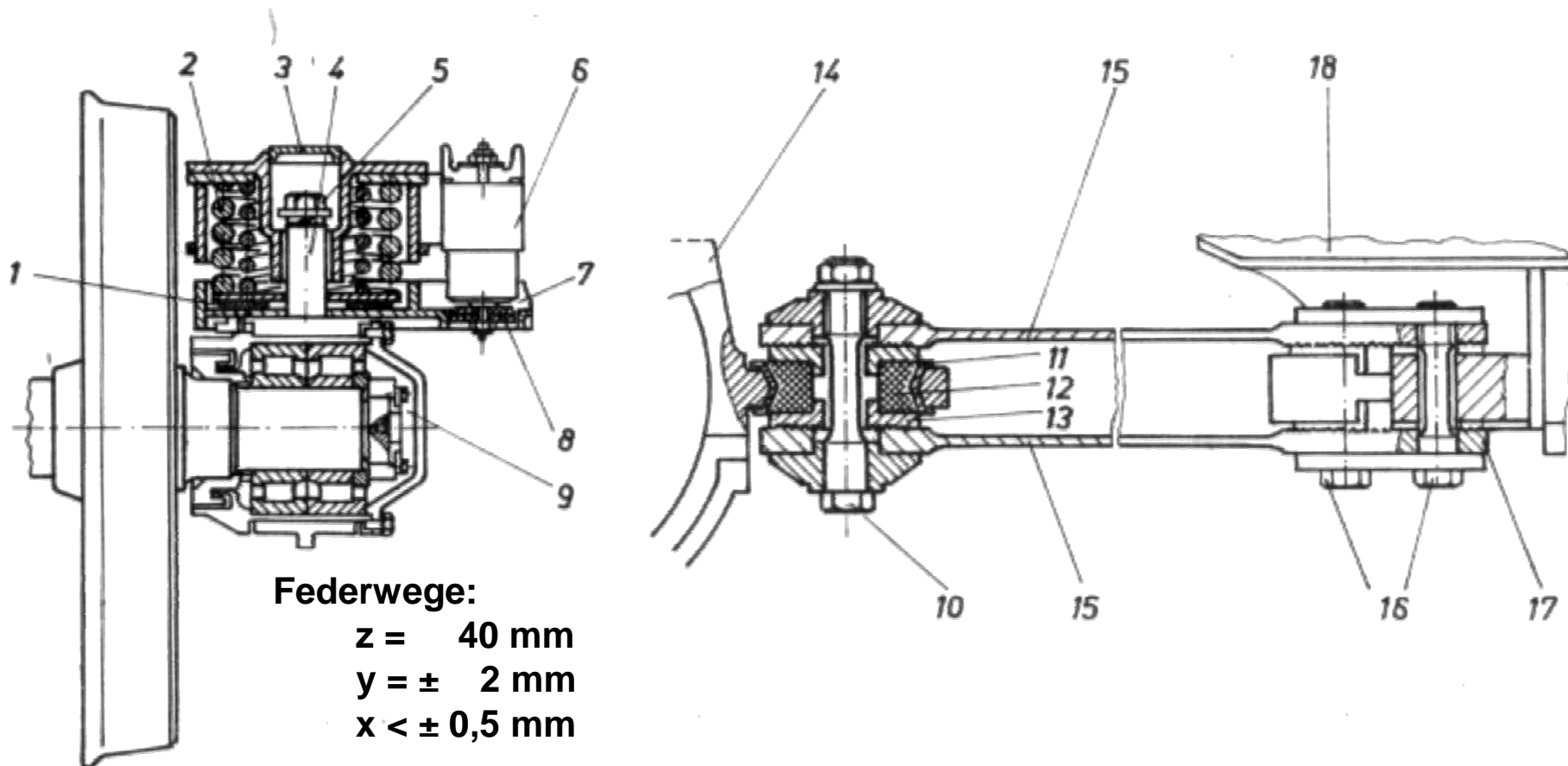
Lenoir-Dämpfer





## Radsatzführung mit Stahlblattlenker

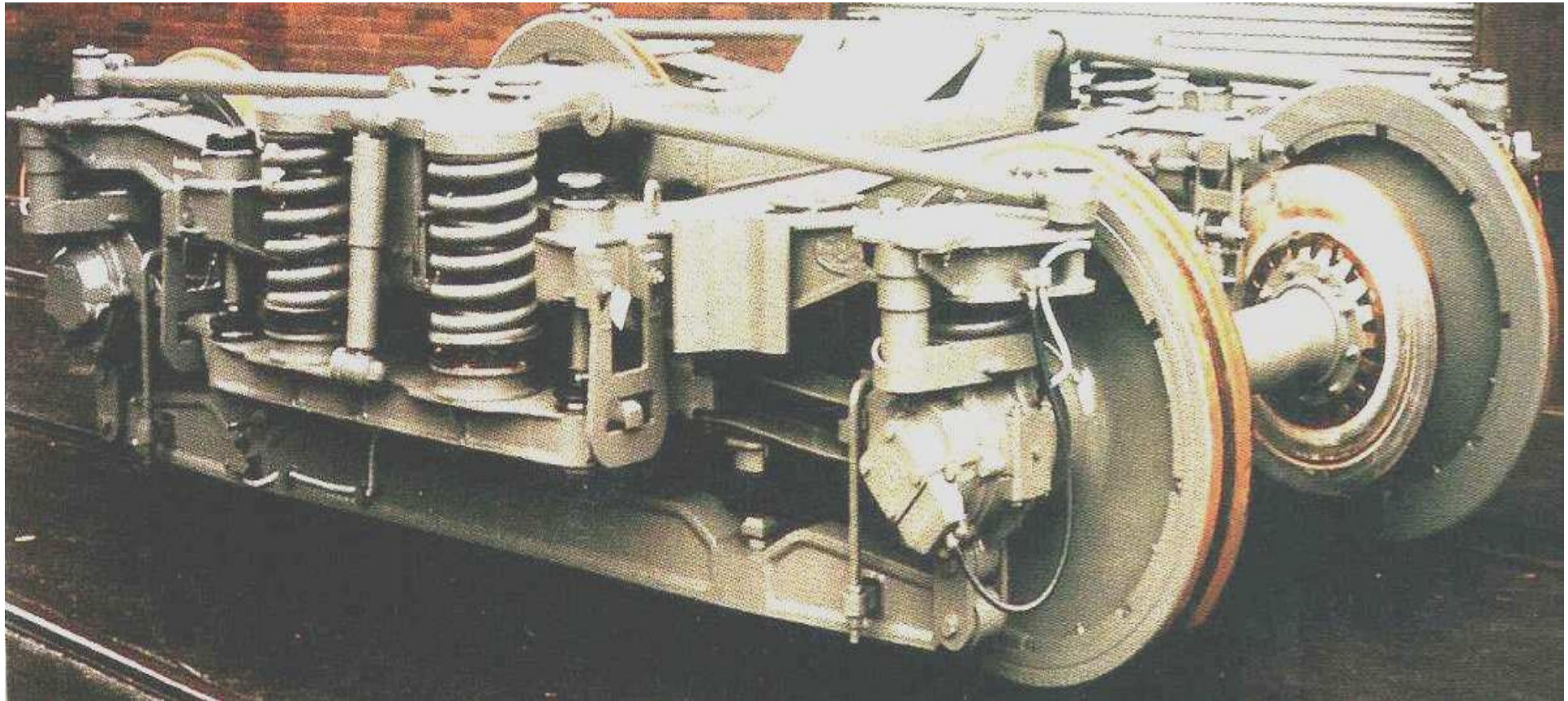
- Verwendung bei den Drehgestellen des Typs Minden/Deutz
- sehr steife Führung in x und y-Richtung
- Vertikalfederung durch doppelten Schraubenfedersatz und Doppelblattlenker
- Beeinflussung der z-Federkonstante durch Doppelblattlenker
- geeignet für hohe Geschwindigkeit, keine radiale Einstellung des Radsatzes im Bogen
- hydraulischer Dämpfer für z-Richtung erforderlich







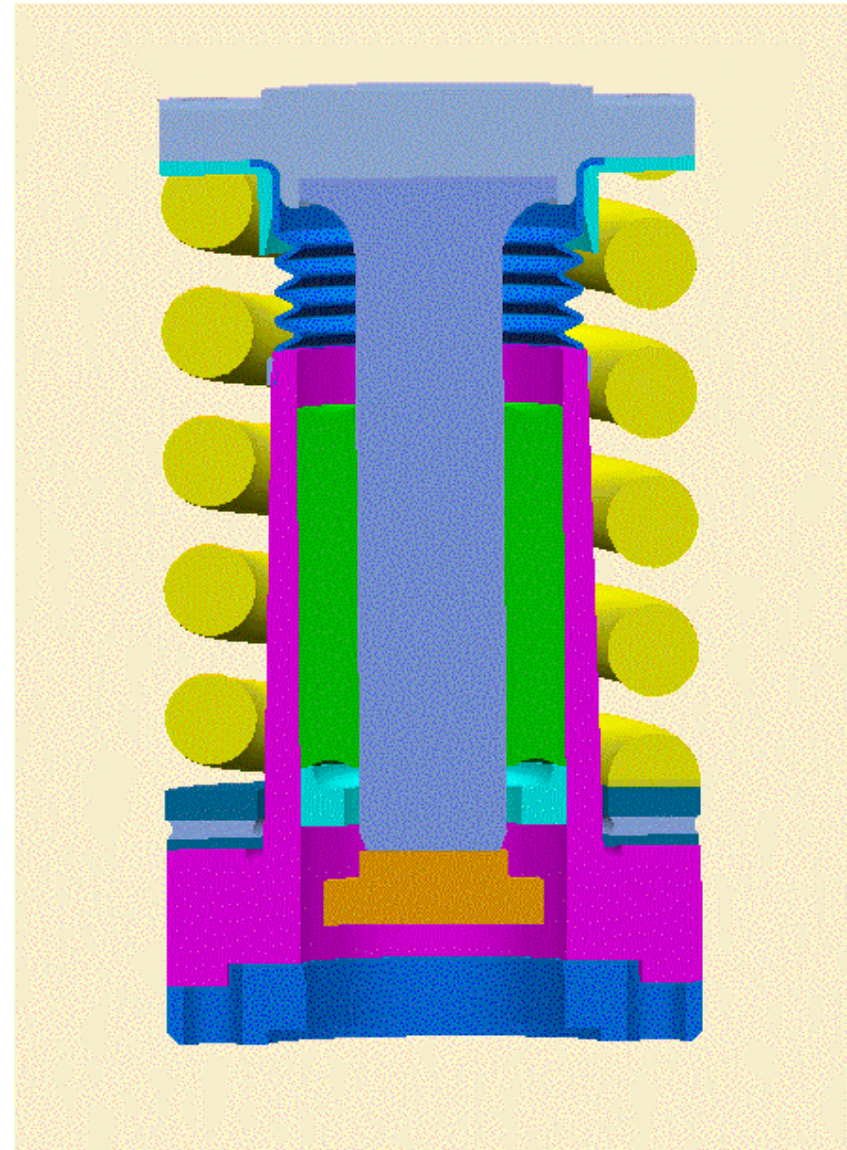
## Drehgestell für den Hochgeschwindigkeitszug ICE-V





## Zapfenführung mit Schraubenfeder

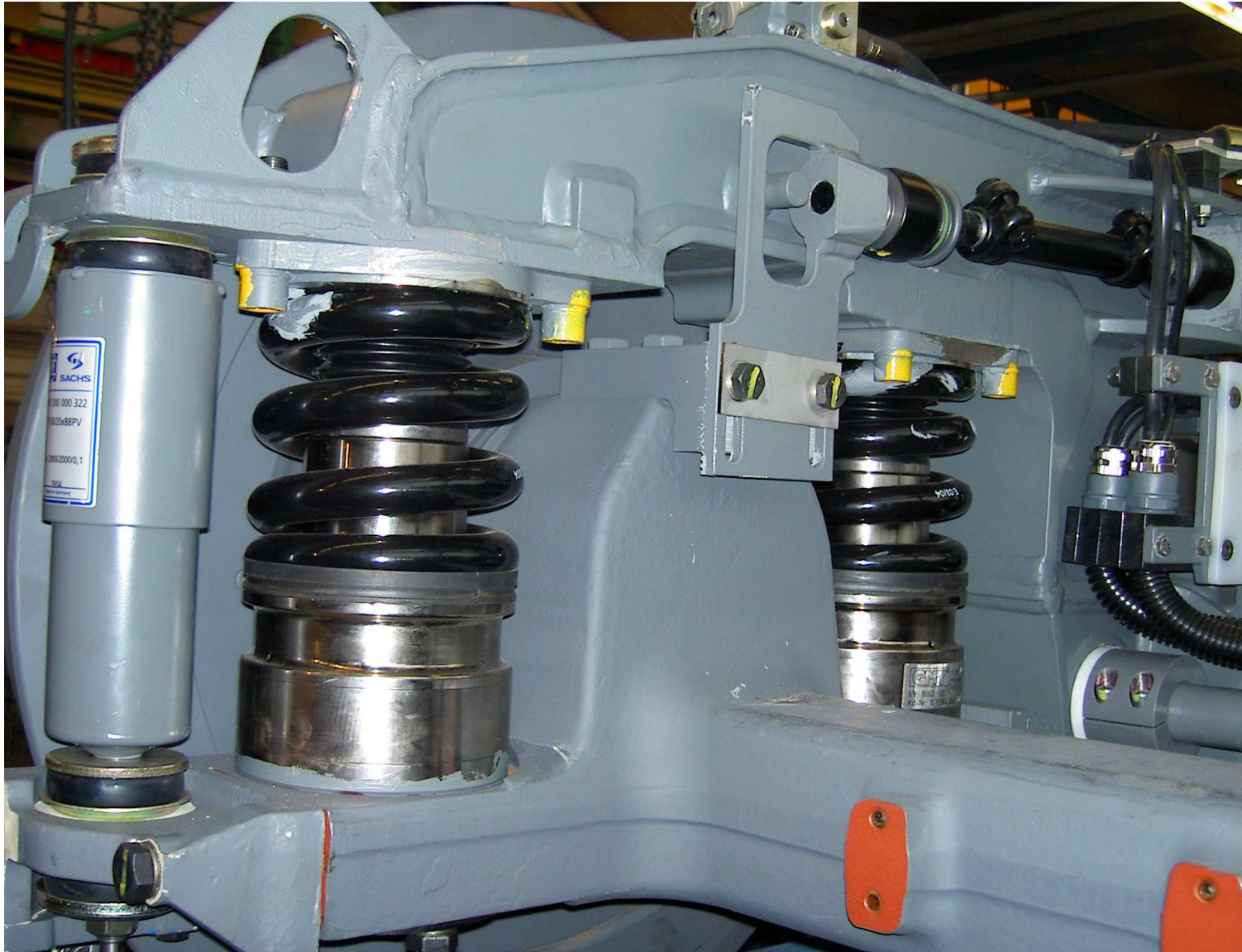
- starre Führung in x und y-Richtung
- kleinster Bauraum bei größtmöglicher x und y Steifigkeit
- weitgehend verschleißfrei durch spezielle Werkstoffpaarung
- z-Steifigkeit freizügig einstellbar
- hydraulischer Dämpfer für z-Richtung erforderlich







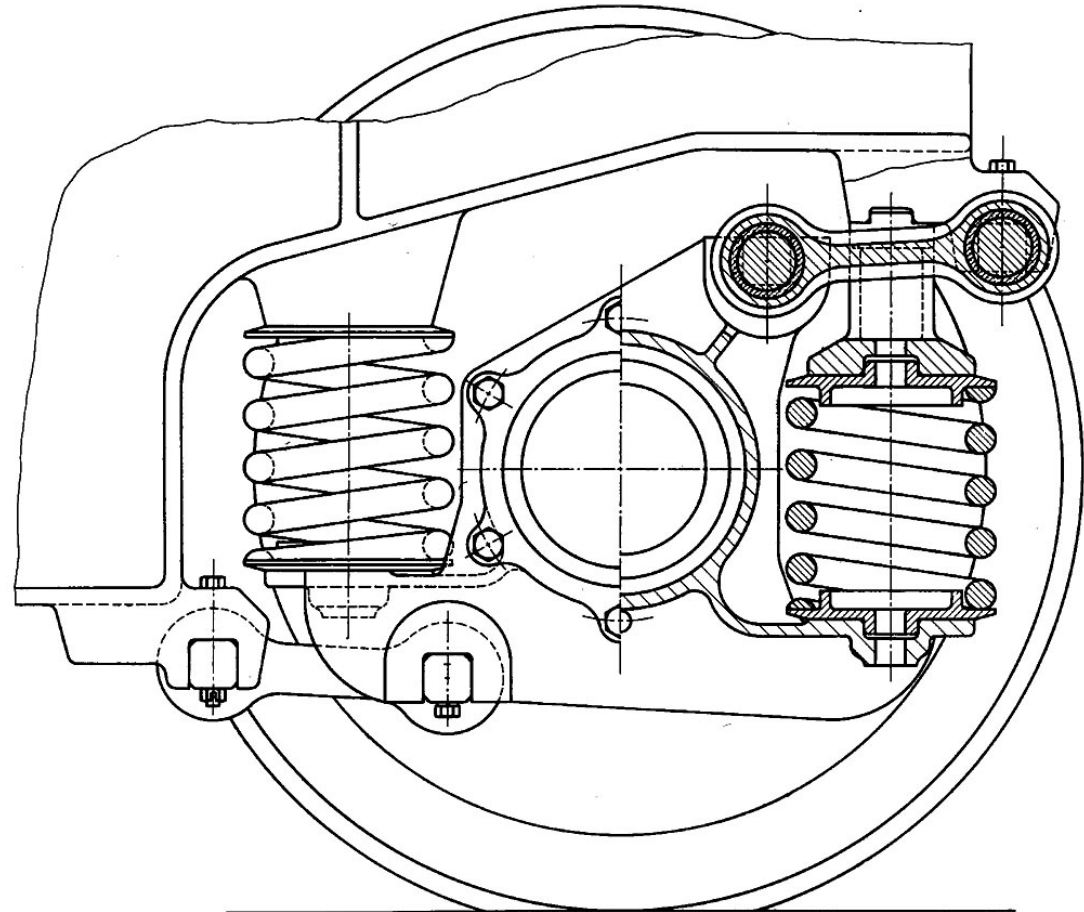
## Zapfenführung einer Losradachse





## Radsatzführung durch Lemniskatenlenker

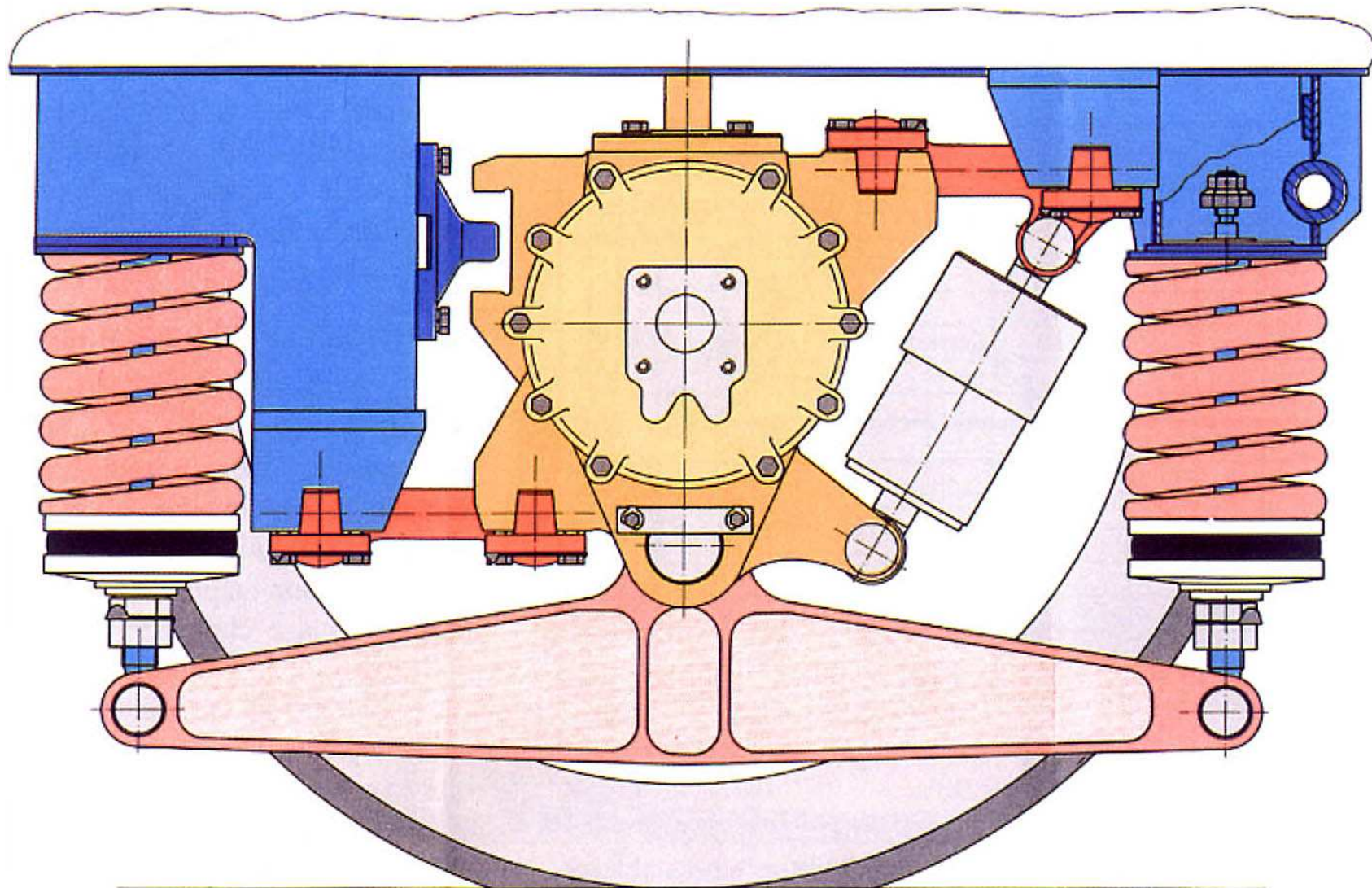
- bevorzugte Konstruktion bei älteren Triebfahrzeugen
- kaum Beeinflussung der z-Steifigkeit durch die Lenker
- hydraulischer Dämpfer für z-Richtung erforderlich







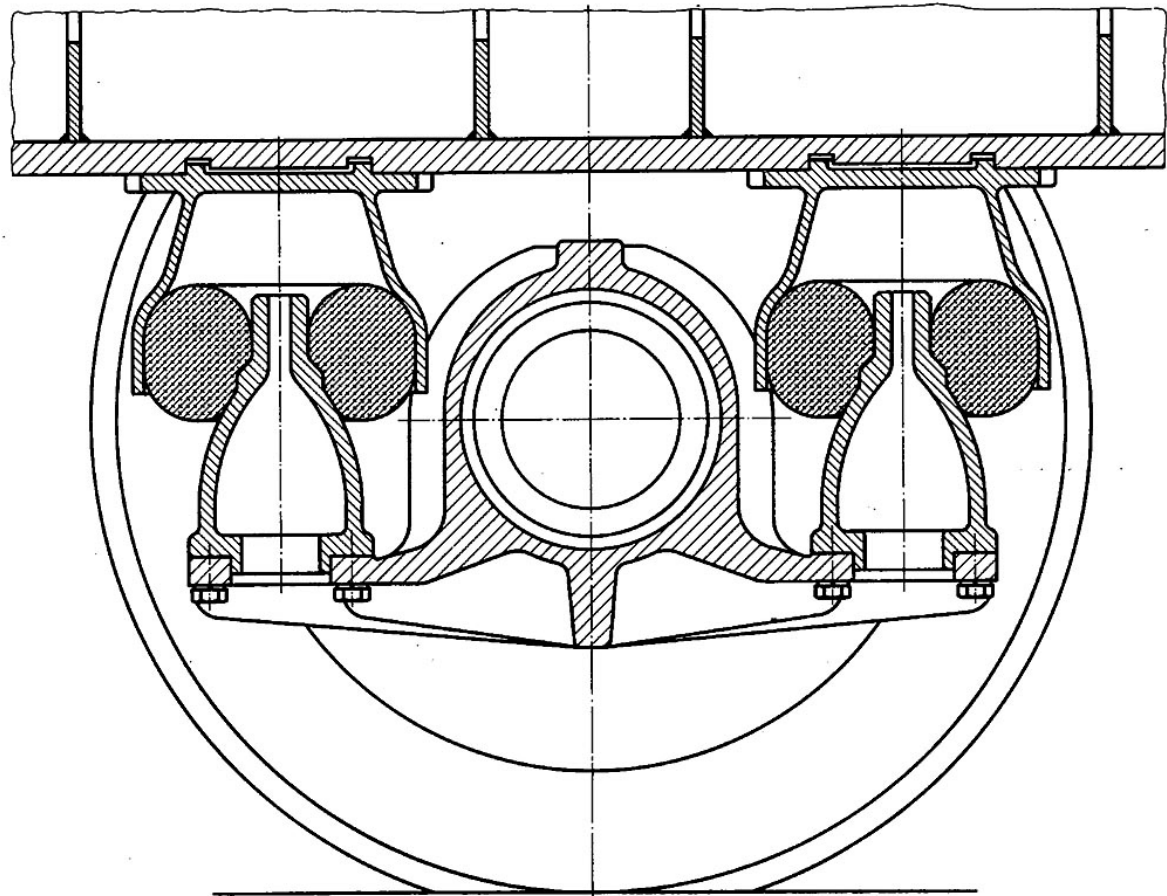
# Lemniskatenanlenkung des Radsatzes der Lokomotive BR 103





## Gummirollfeder (Clouthfeder)

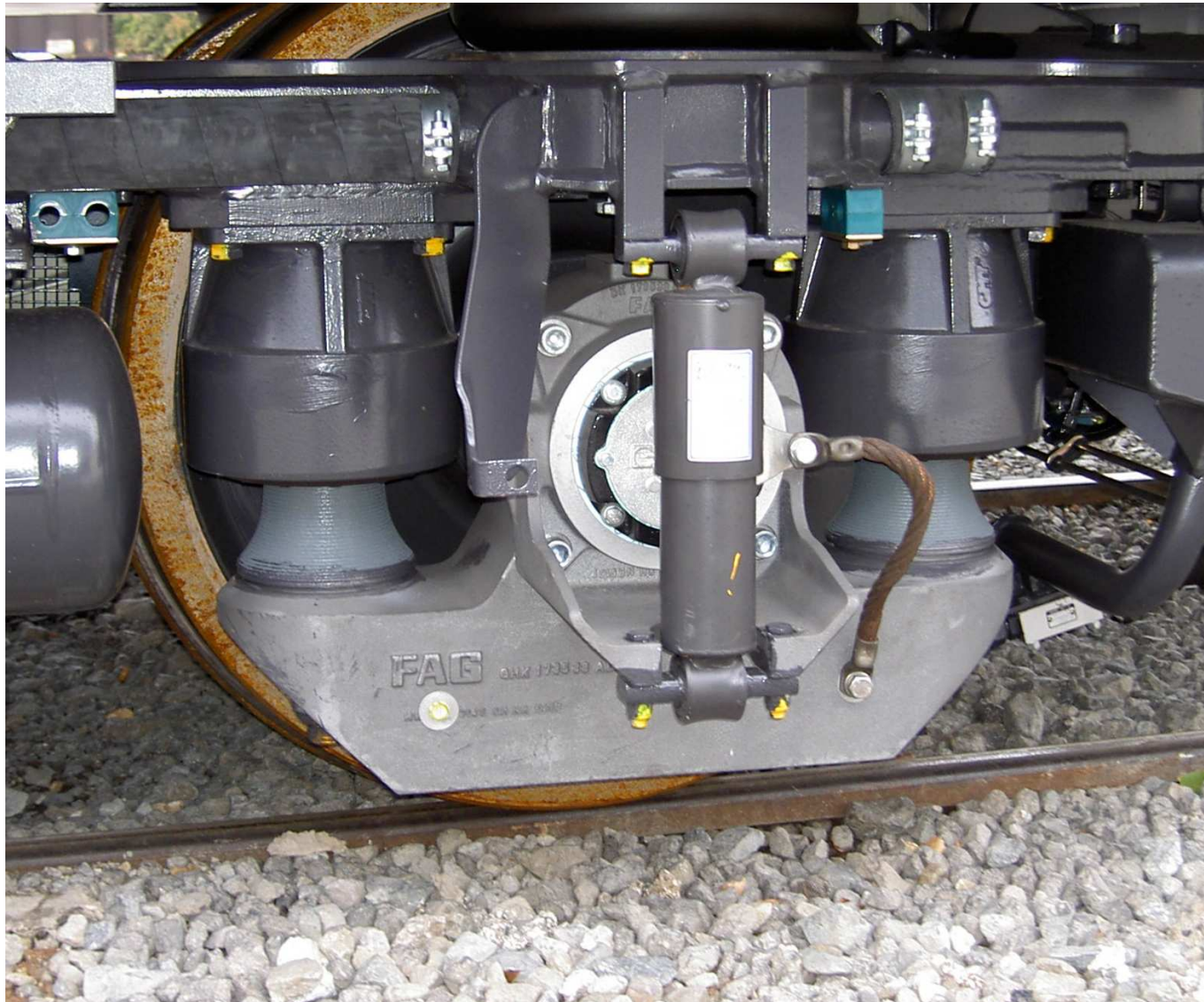
- einfache und preiswerte Radsatzfeder
- hohe Eigendämpfung, daher auch ohne Zusatzdämpfer funktionsfähig (bis 80 km/h)
- starke Setzungen in den ersten Betriebsmonaten
- Federraten  $c_y$  und  $c_x$  gleich
- starke Abhängigkeit der Federraten untereinander







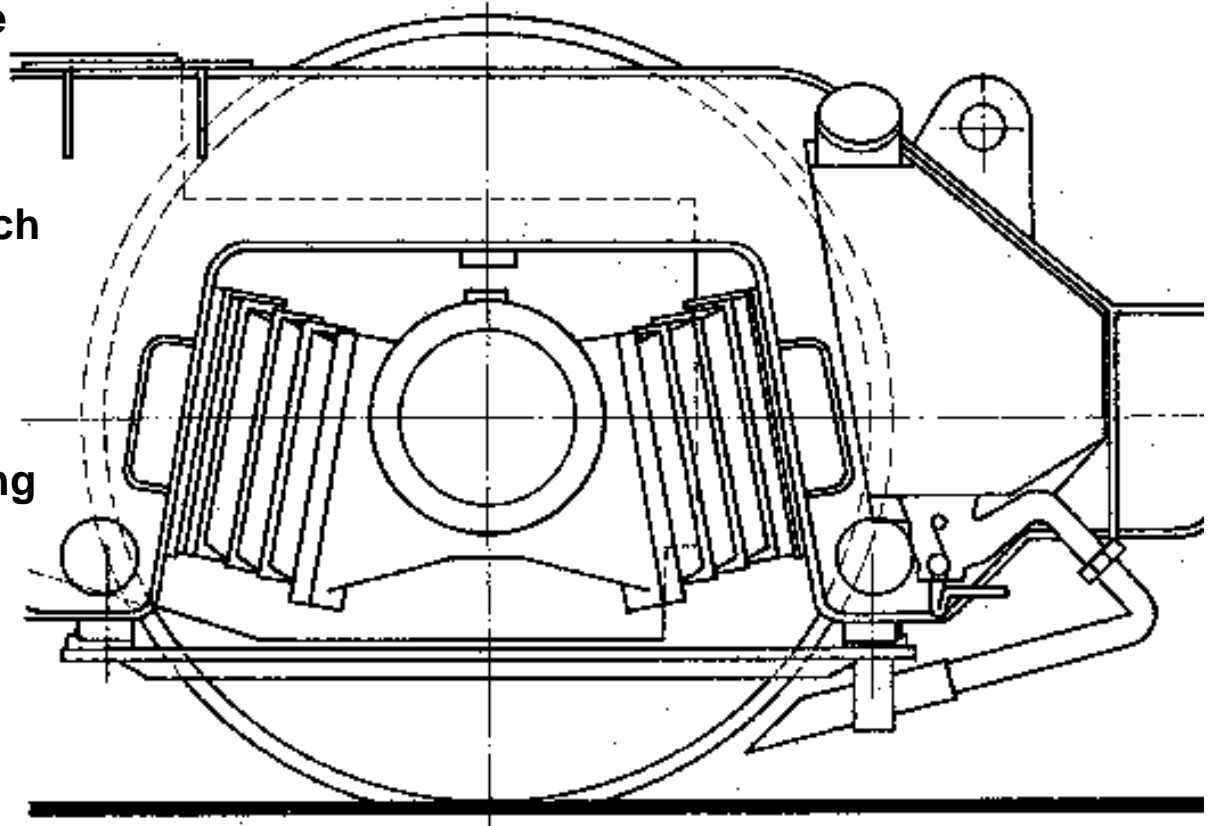
## Gummirollfeder im Einzelradsatzfahrwerk





## Radsatzführung mit Schub-Druck-Gummifeder (Megi-Feder)

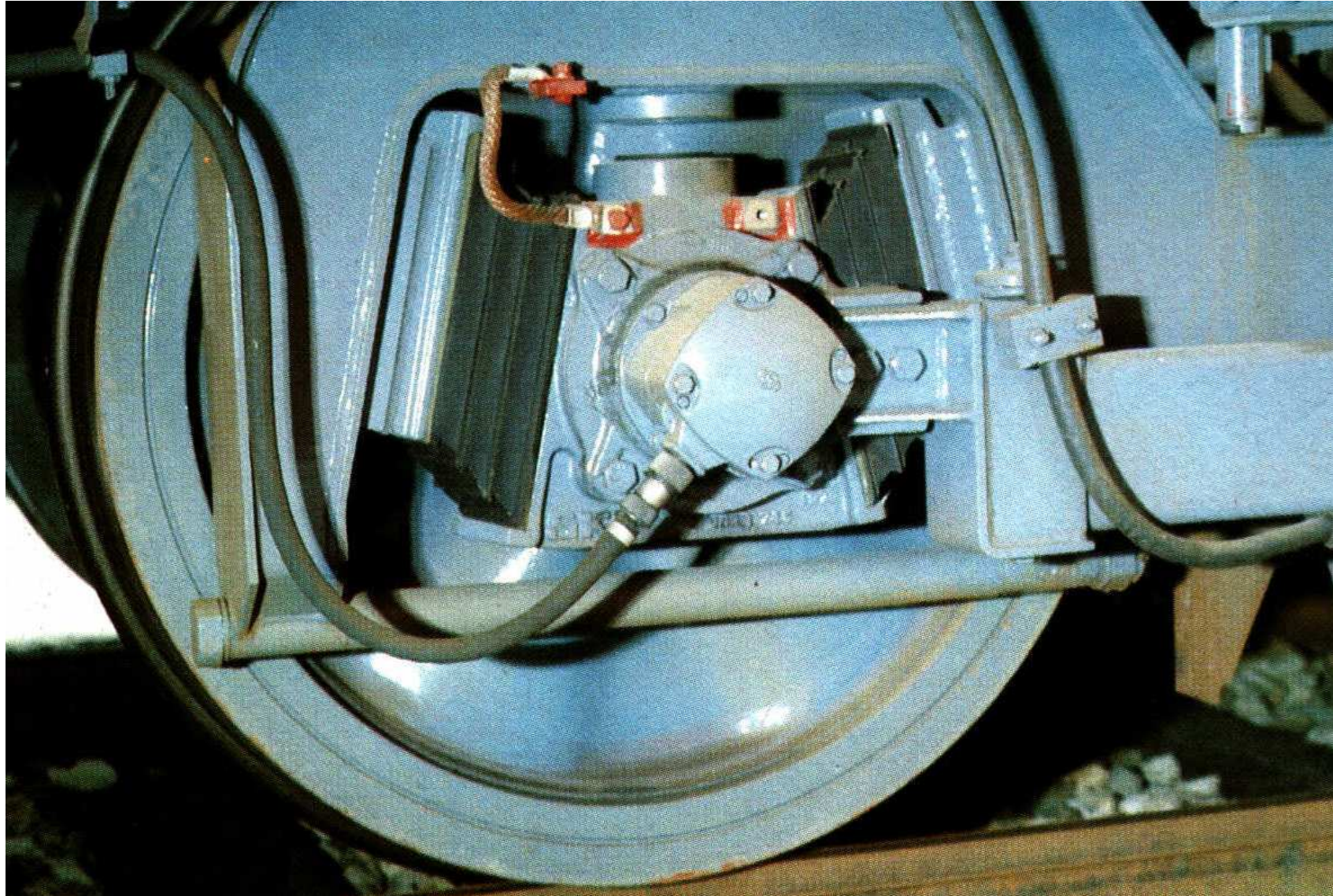
- hohe Eigendämpfung, daher auch ohne Zusatzdämpfer funktionsfähig (bis 80 km/h)
- starke Setzungen in den ersten Betriebsmonaten - Federhöhe reagiert empfindlich auf Setzung
- einstellen der Federhöhe durch Blechbeilagen möglich.
- aufwendige mechan. Bearbeitung des Dg-rahmen im Bereich der Radsatzführung notwendig







## Radsatzführung einer Straßenbahn mit Megi-Feder

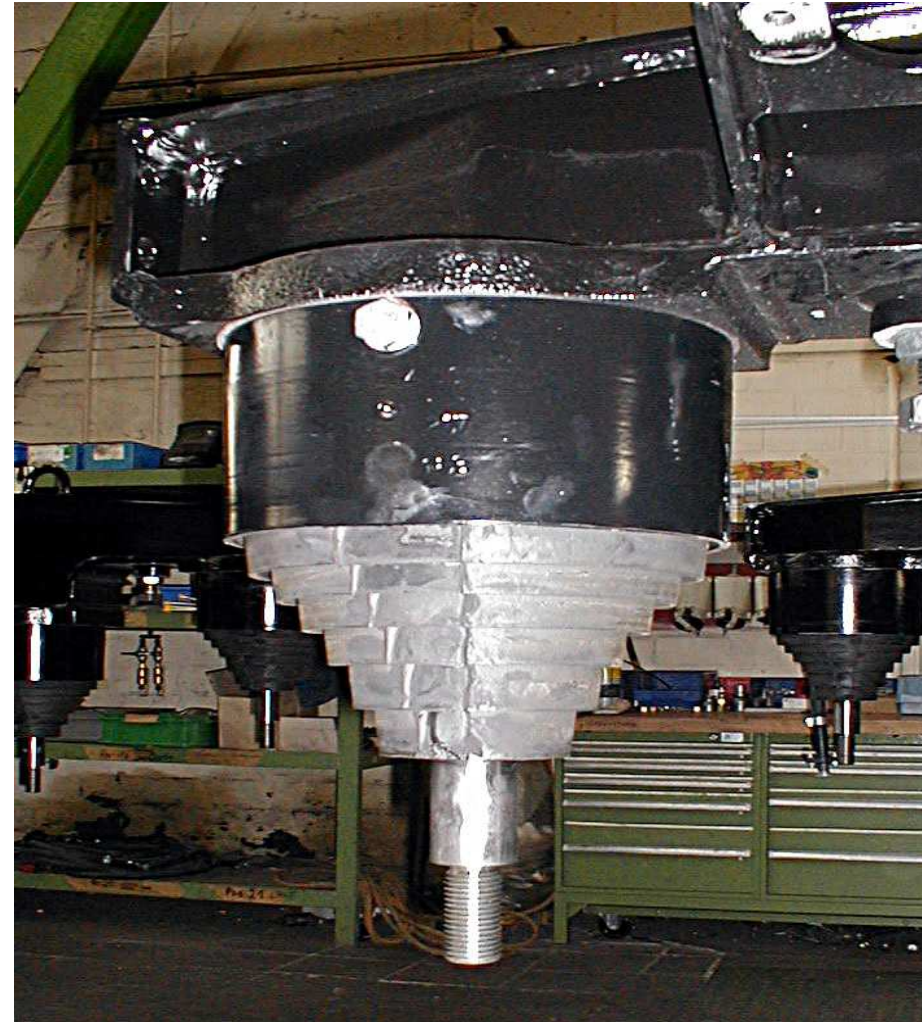






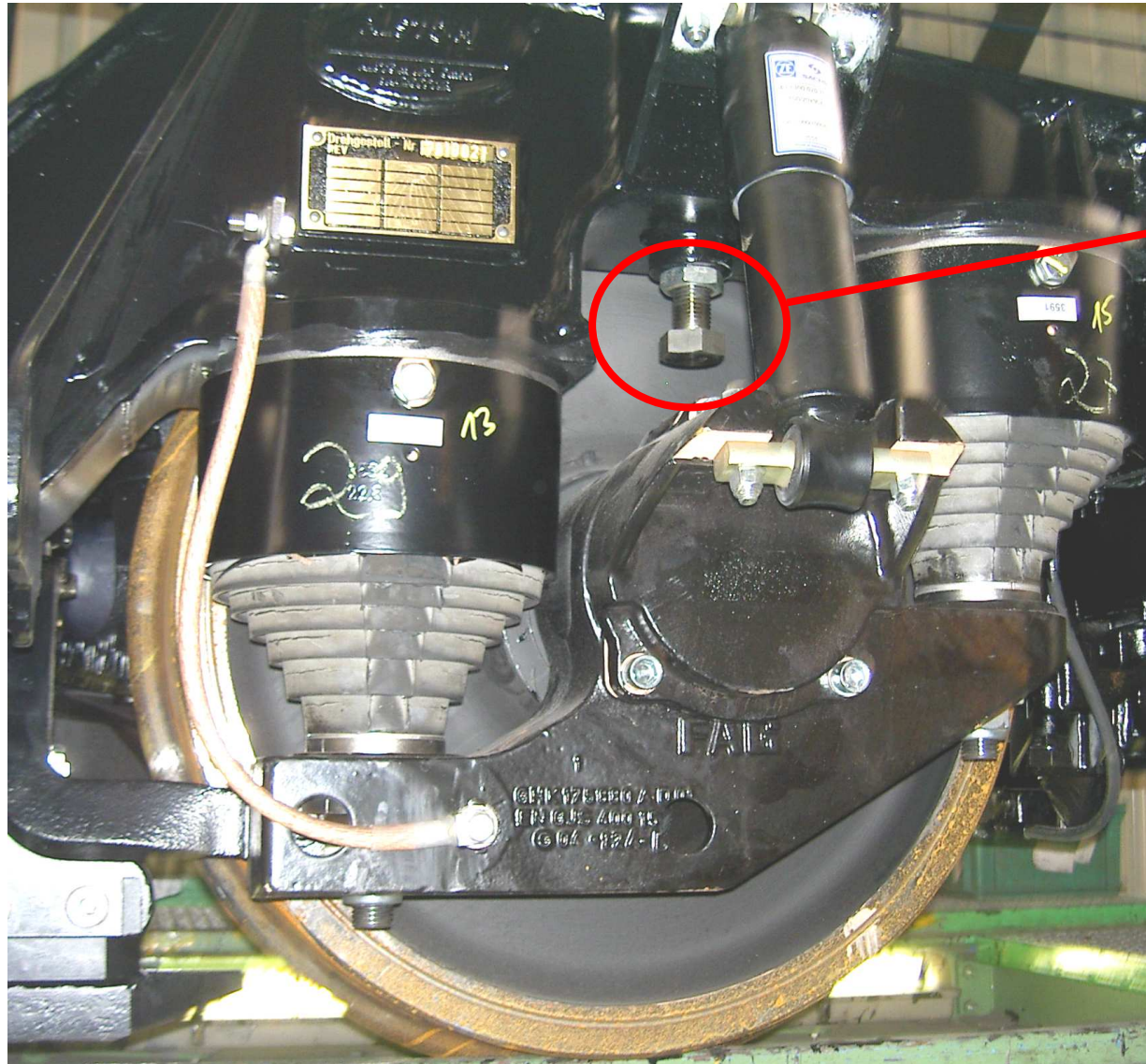
## Verbundfeder als Primärfeder

- einfaches, rotationssymmetrisches Bauteil (ähnlich Rollfeder)
- unterschiedliches  $c_x, c_y$  realisierbar
- $c_z$  in größerem Bereich variierbar
- geringere Setzung
- hydraulischer Dämpfer für z-Richtung notwendig





## Radsatzführung eines Dieseltriebwagens durch zwei Verbundfedern



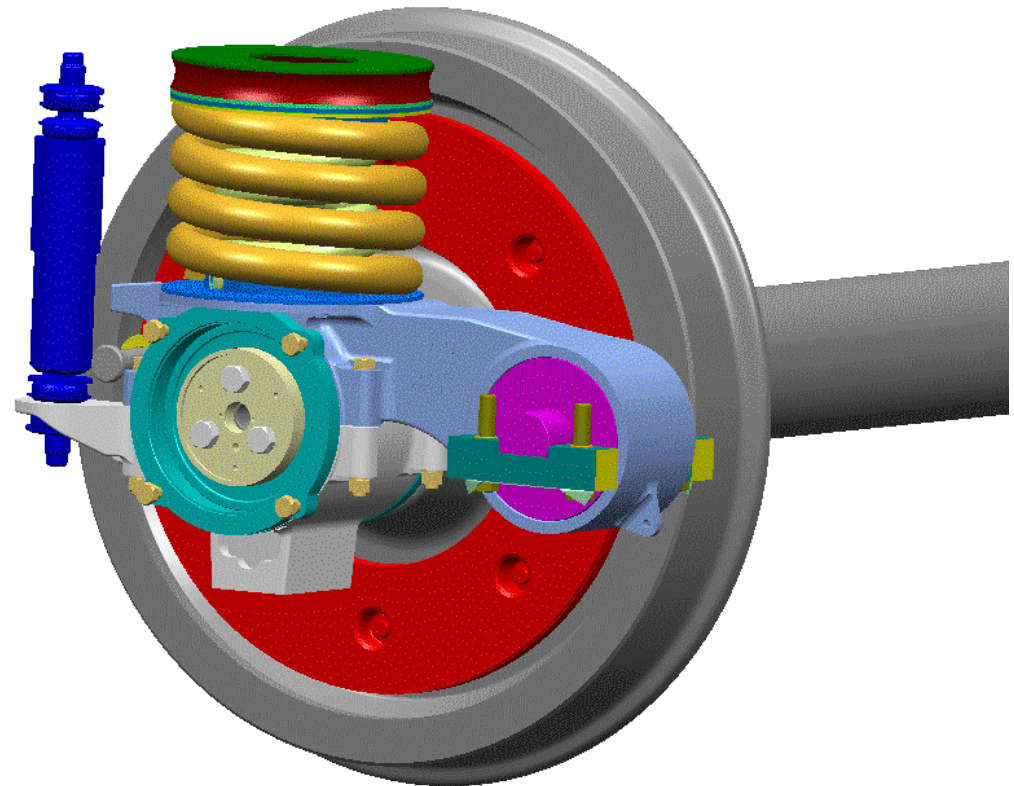
**Einstellbarer Anschlag zur Federwegbegrenzung bei Triebdregestellen**





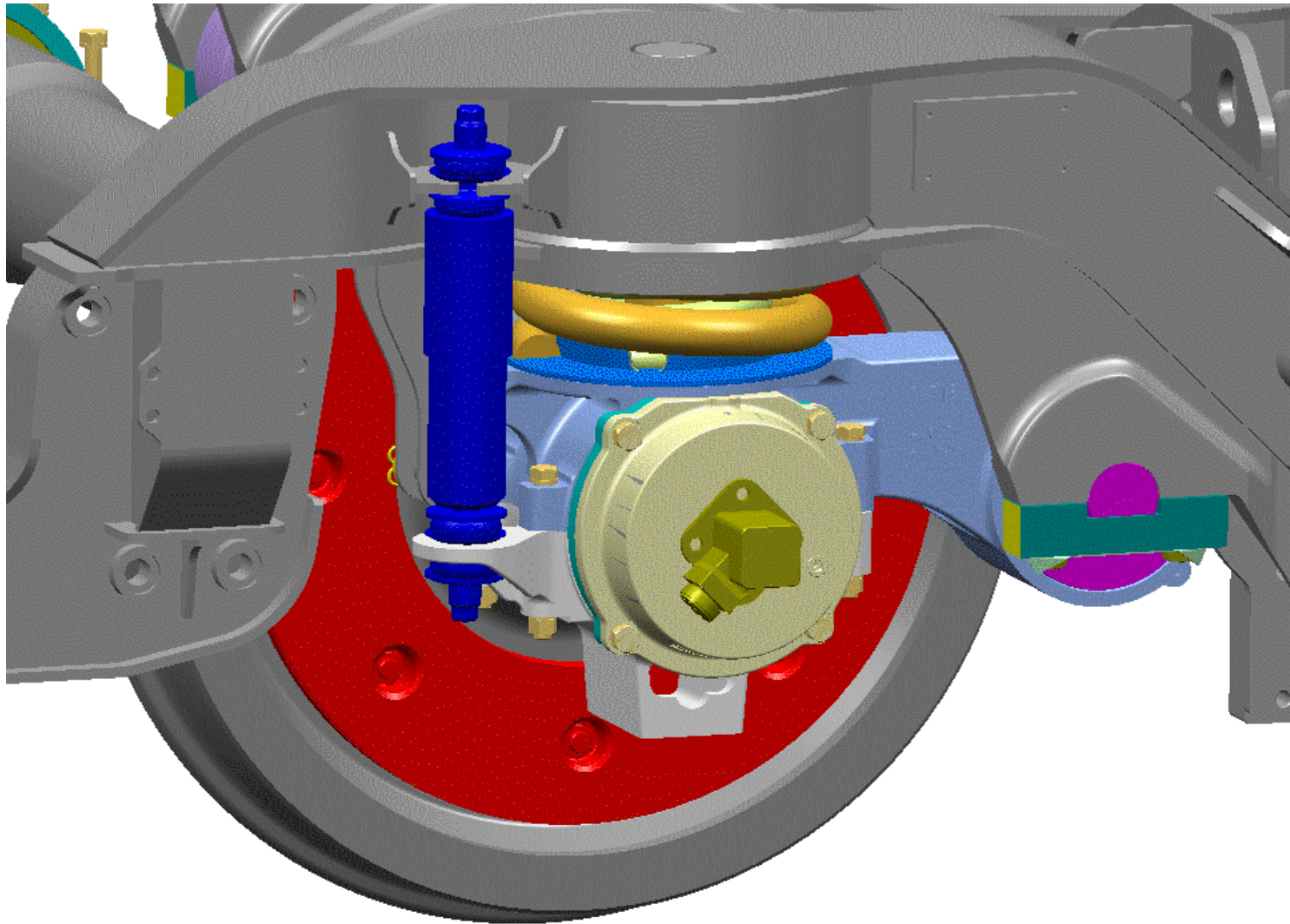
## Radsatzführung durch Schwinge

- Federkonstanten in den drei Raumrichtungen frei einstellbar
- z-Federkonstante stark beeinflusst durch Kurvenbahn der Schwinge
- durch große Variationsmöglichkeit der Federsteifigkeiten für alle Geschwindigkeitsbereiche einsetzbar
- hydraulischer Dämpfer für z-Richtung notwendig
- z. Zt. von allen Herstellern bevorzugt eingesetzt





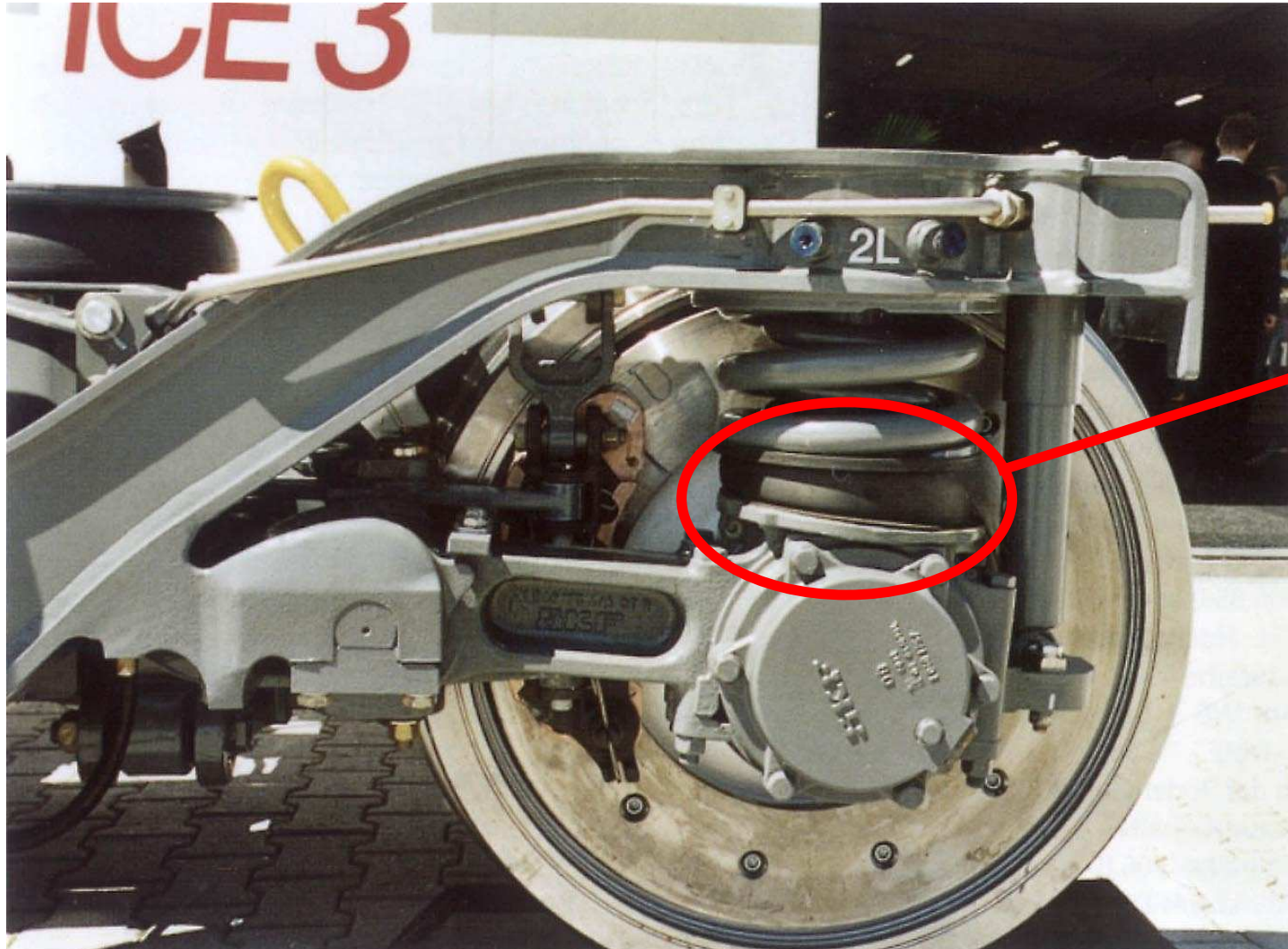
## Radsatzführung durch Schwinge für eine S-Bahn (X60)







## Drehgestell für ICE 3 mit Schwinge



Zusätzliche  
Gummischicht-  
feder



## Radsatzführung durch Dreieckslenker

- Funktion und Charakteristik ähnlich Schwingenlösung
- bevorzugt einsetzbar bei Triebfahrzeugen (keine Zuladung)







## Radsatzführung einer Hochleistungslokomotive (Taurus)

