

# Grundlagen der Schienenfahrzeugtechnik



## 04 Fahrtechnik

Dr.-Ing. Michael Karatas

Siemens Mobility GmbH  
Krefeld-Uerdingen

[michael.karatas@siemens.com](mailto:michael.karatas@siemens.com)



## Überblick



- I. Einführung
- II. Zugförderung
- III. Wagenkasten
- IV. Fahrtechnik / Systemkinematik**
- V. Komfort
- VI. Antrieb
- VII. Bremse

## Gliederung



### Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

### Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

### Messtechnik

## Gliederung



### Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

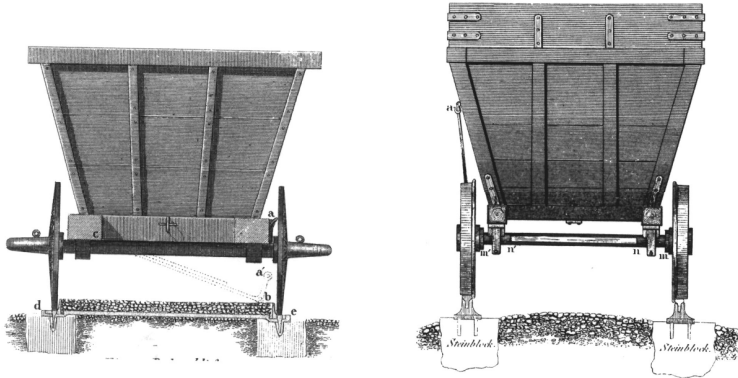
### Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

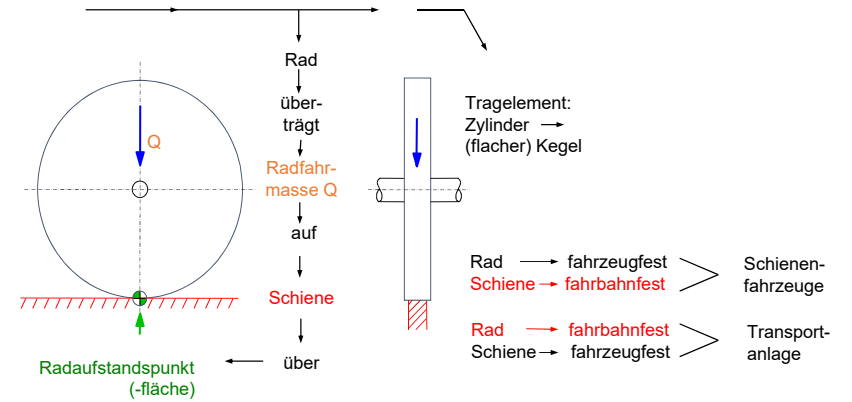
### Messtechnik

# 4.1 Einführung Allgemeines

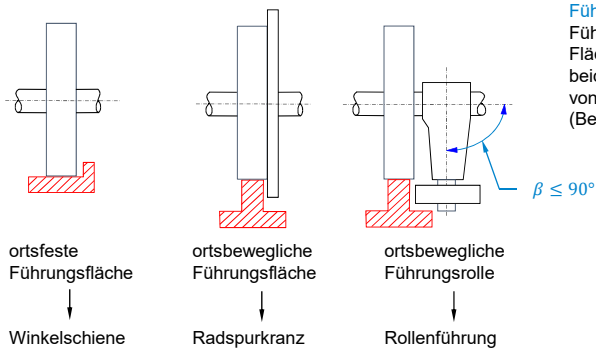
## Anfänge der Spurführung



# 4.1 Einführung Tragen



# 4.1 Einführung Führen



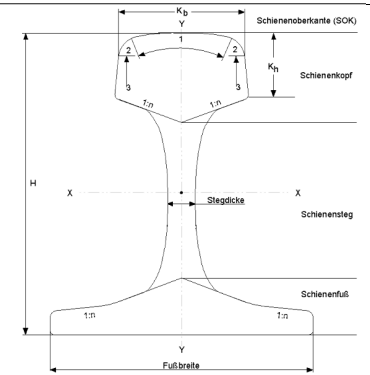
# 4.1 Einführung Schiene im Prinzip 190 Jahre alt

**Breitfußschiene**  
Erfinder: Charles Vignol (1829)  
Masse: zwischen 20 und 100 kg/m

1	Schellefläche
2	Kopfrundung
3	Fahrschiene flanke
1:n	Neigung der Laichmen angeflächen
x-y	Schwerpunktschsen
K <sub>n</sub>	Kopfhöhe
K <sub>p</sub>	Kopfbreite
H	Schienehöhe

Bezeichnungen

- 49 kg/m → S 49
- 54 kg/m → S 54
- 60 kg/m → UIC 60
- (70 kg/m)

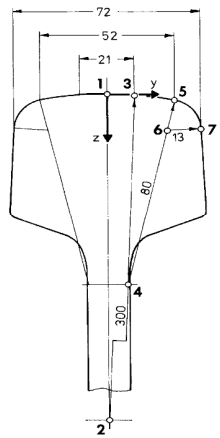


Typische Produktionslänge heute: 120 m  
Verbindung durch Schweißen. Patentierung des THERMIT-Prozesses durch Prof. Goldschmidt 1895

Quelle:  
ZEVrail, Okt.2015, S. 371



## 4.1 Einführung Geometrie des Schienenkopfes



Schienenkopf UIC60

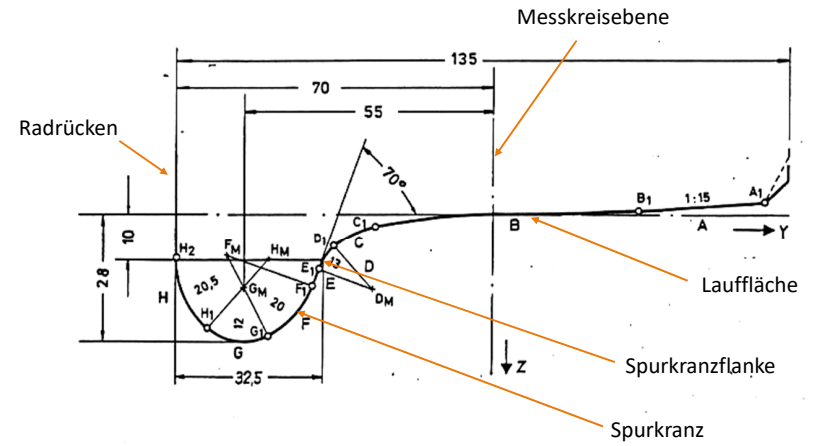
Quelle: Wikipedia



## 4.1 Einführung Elemente Einheitsradprofil ORE S1002/3

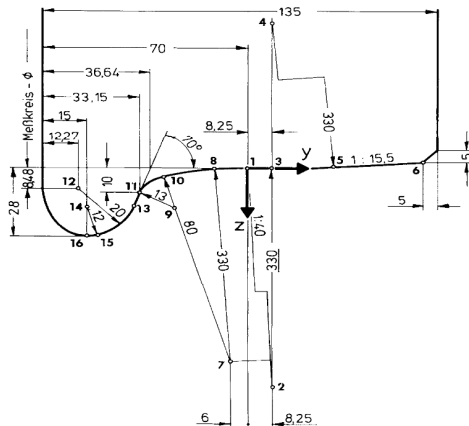
### Einheitsradprofil

Siehe EN 13715

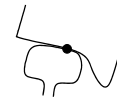


## 4.1 Einführung Radprofil DB II

### Lauf des Radsatzes Radprofil DB II



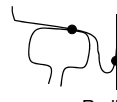
## 4.1 Einführung Führungsfälle



Einpunktberührung in der  
Lauffläche (erwünscht)

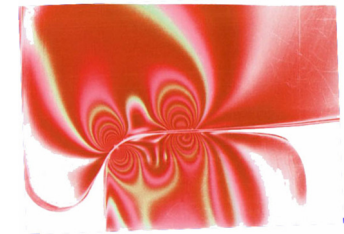


Einpunktberührung in der  
Spurkranzstirnfläche  
(nicht erwünscht)



2- Punktberührung  
(erwünscht z.B. Weiche!)  
Spurkranzrückenflächenberührung

Radlenker

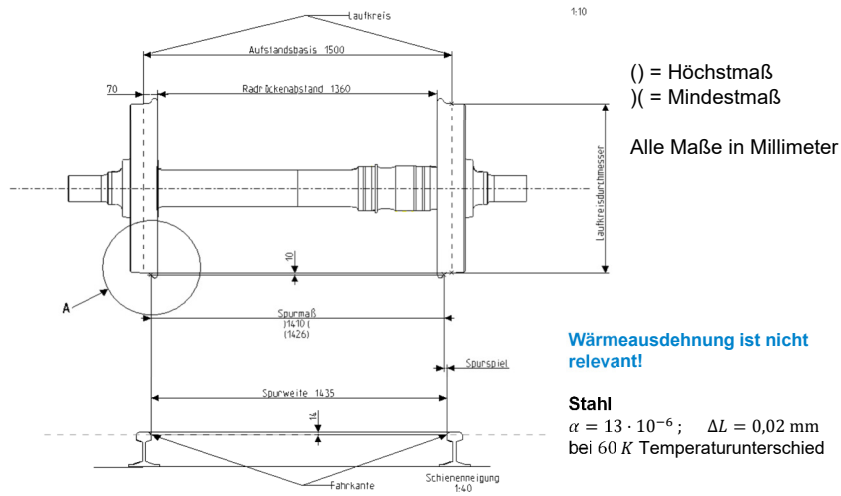


Spannungsoptische Aufnahme einer 2-Punkt-Berührung

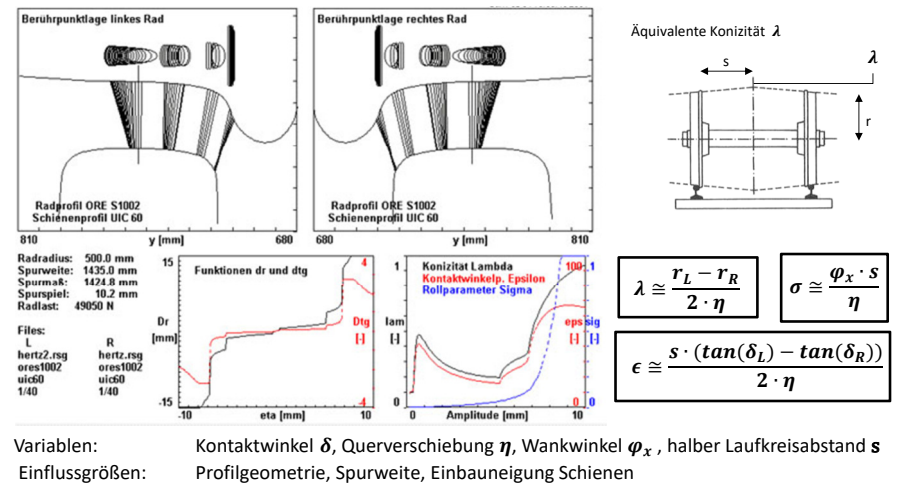


2- Punktberührung  
(Bogenlauf)

# 4.1 Einführung Radsatz

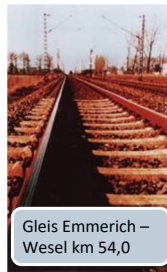
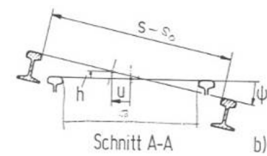


# 4.1 Einführung Rad / Schiene - Kontakt

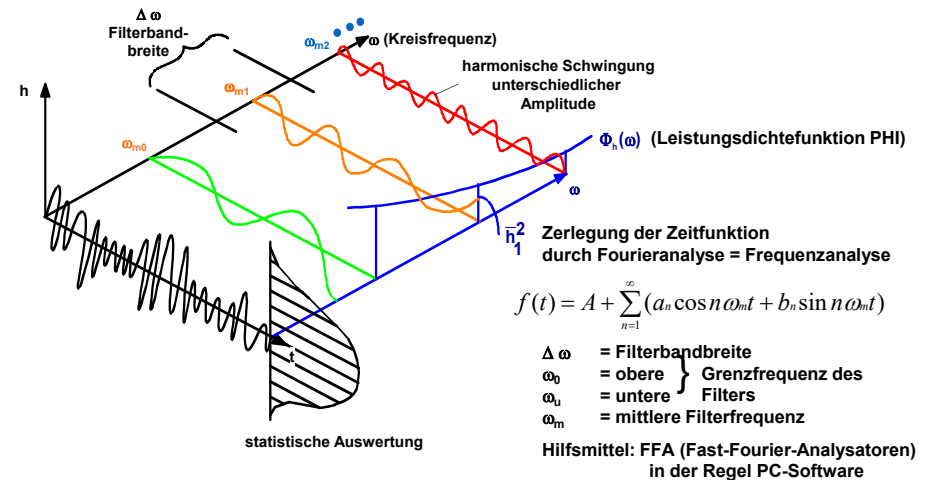


# 4.1 Einführung Gleislag Abweichungen

## Fehlertolerantes Rad-Schiene-System



# 4.1 Einführung Fahrbahnunebenheiten, Frequenzverhalten



## 4.1 Einführung Spurweiten in der Welt

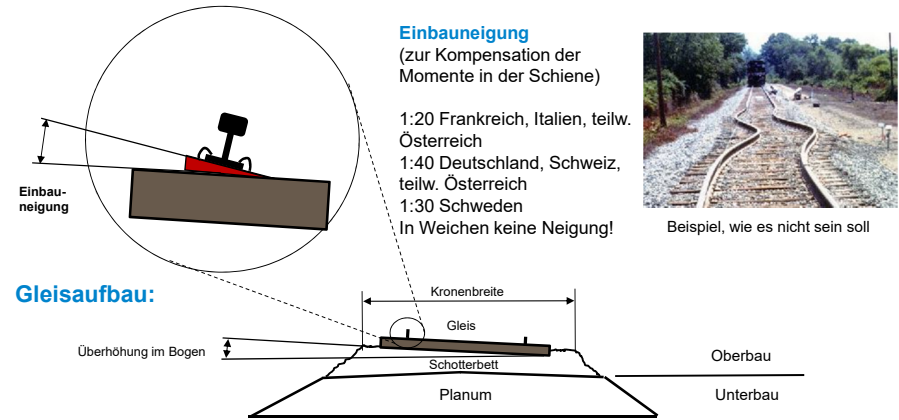
Spurweite der Normalspur: 1435 mm = 4' (engl. Fuß) + 8,5'' (Zoll)  
Toleranzbereich: - 5 mm bis + 35 mm oder 1430 mm bis 1470 mm

Spurweiten und ihre prozentualen Anteile in der Welt:

1435	65%	Normalspur in Europa, USA, Türkei, China usw.
1524	11%	Breitspur in Russland, Finnland, Panama
1067	7,7%	Kapspur im südlichen Afrika, Australien, Taiwan, Japan, Neuseeland
1000	7,5%	Meterspur in Algerien, Brasilien, Vietnam, Thailand, Pakistan, Malaysia
1676	5,7%	Breitspur in Indien, Pakistan, Chile, Argentinien (Portugal, Spanien 1668 mm)
1600	1,2%	Breitspur in Irland, Australien Brasilien
Summe:	98,1%	
Insgesamt 35 (!!!) verschiedene Spurweiten		

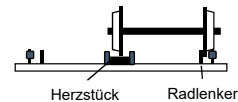
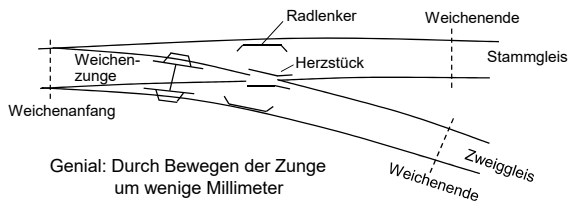
Die breiteste realisierte Spur gab es ab 1833 in England mit einer Spurweite von 7ft (2134 mm). Verbindung „Great Western“ von Paddington nach Bristol und weiter. Geplant und umgesetzt von Isambard Kingdom Brunel. Ab 1869 umgespurt auf Normalspur.

## 4.1 Einführung Einbauneigung und Überhöhung

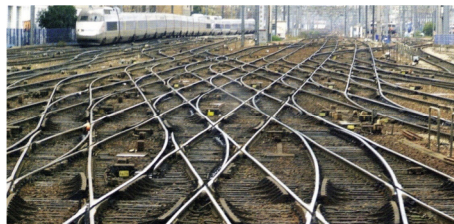


**Herstellungskosten für eine zweigleisige Strecke:**  
ca. 12 – 30 Mio € / km, abhängig von vielen Parametern (Brücken, Tunnel, Schnellfahrstrecke etc.); Anteil Elektrifizierung ca. 2-3 Mio € / km

## 4.1 Einführung Die Weiche



Bei Hochgeschwindigkeitsweichen gibt es Sonderausführungen mit beweglichen Herzstücken etc. ohne Laufflächenunterbrechung.



Quelle: Paris-Montparnasse aus dem Artikel 1980-2020, 40 Jahre Entwicklung des französischen Eisenbahnnetzes  
Werner Wegand  
ETR, März 2016, Nr.3, Seite 33



Zum Vergleich die Weiche beim Transrapid  
Quelle: Internet, 02.05.2017  
www.hochgeschwindigkeitszuege.com

## 4.1 Einführung Achslasten und Meterlasten

### Maximale Achslasten

5 t	Nahverkehr
16 t	einige Nebenbahnen und Neigetechnikstrecken
18 t	Nebenbahnen
20 t	Hauptbahnen
22,5 t	Güterzugstrecken
35 t	Heavy Haul (Amerika)

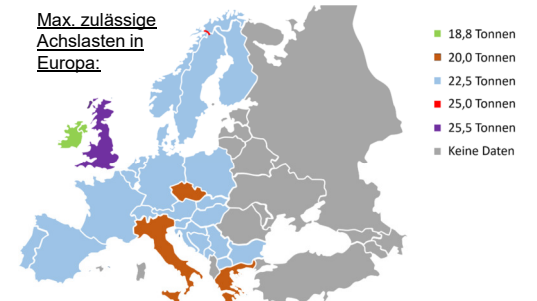
(Begrenzungen verursacht durch den Oberbau)

### Meterlasten

6-8 t/m

(Begrenzung verursacht durch Brücken)

Max. zulässige Achslasten in Europa:

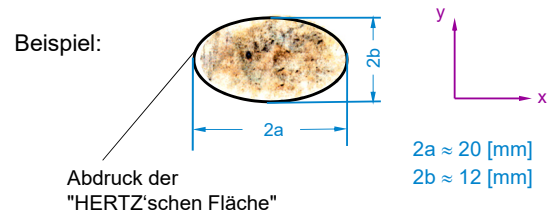


Quelle: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/325055/>

## 4.1 Einführung

### Rad / Schiene Berührungsfläche

Durch elastische Verformung von Rad und Schiene entsteht unter der Radlast  $Q$  eine Berührungsfläche: "HERTZ'sche Fläche"



$$2a \approx 20 \text{ [mm]}$$

$$2b \approx 12 \text{ [mm]}$$

$$a \approx k_a \cdot \sqrt[3]{\frac{v^2 Q r}{E}}$$

$$b \approx k_b \cdot \sqrt[3]{\frac{v^2 Q r}{E}}$$

$Q$  = Radlast [kN]  
 $r$  = Laufkreisradius [m]  
 $E$  = E-Modul [N/mm<sup>2</sup>]  
 $k_a, k_b$  = Geometriebeiwerte  
 $v$  = Querkontraktionszahl [-]

## Gliederung

### Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

### Systemkinematik

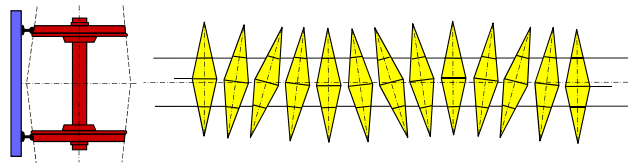
- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

### Messtechnik

## 4.2 Geradeauslauf

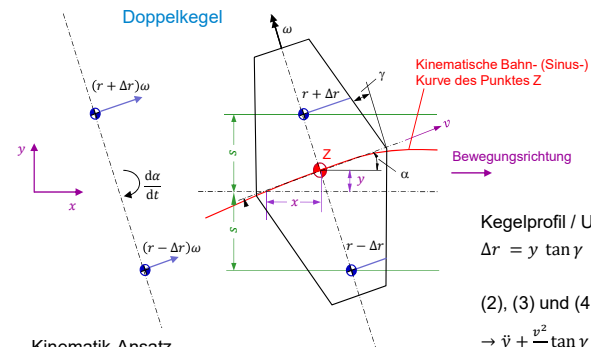
### Sinuslauf

- Radsatz idealisiert als Doppelkegel
- Masselos



## 4.2 Geradeauslauf

### Sinuslauf



Kegelprofil / Umfangsgeschwindigkeit

$$\Delta r = y \tan \gamma \quad (3) \quad \omega = v/r \quad (4)$$

(2), (3) und (4) in (1)

$$\rightarrow \dot{y} + \frac{v^2}{sr} \tan \gamma \cdot y = 0 \quad (5)$$

Mit  $\Omega^2 := \frac{v^2}{sr} \tan \gamma = (2\pi f)^2$  ergibt sich die  
 Frequenz  $f$  des Sinuslaufs  $[y = y_0 \sin(\Omega t)]$

$$f = \frac{v}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\tan \gamma}{sr}} \quad (6)$$

Kinematik-Ansatz

$$(r + \Delta r)\omega + \dot{\alpha} \cdot 2s = (r - \Delta r)\omega$$

$$\rightarrow \dot{\alpha} s + \Delta r \omega = 0 \quad (1)$$

Quergleitgeschwindigkeit

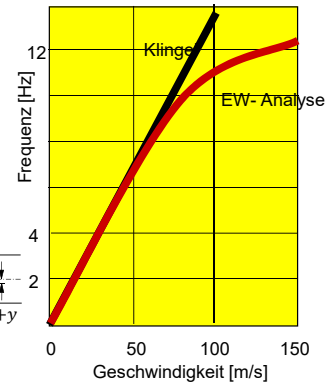
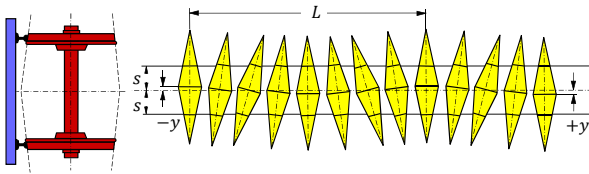
$$\dot{y} = v \cdot \sin \alpha \approx v \cdot \alpha \rightarrow \dot{\alpha} = \dot{y}/v \quad (2)$$

## 4.2 Geradeauslauf Sinuslauf

Mit  $v = Lf$  ergibt sich die Wellenlänge  $L$  des Sinuslaufs zu

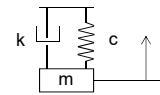
$$L = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{sf}{\tan \gamma}} \quad (7)$$

Die sehr vereinfachende Formel nach Klingel gibt nur im niedrigen Geschwindigkeitsbereich die Realität wieder.



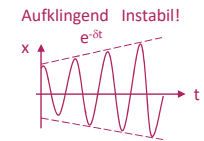
Film:  
Sinuslauf

## 4.2 Geradeauslauf Grundlagen der Schwingungstechnik



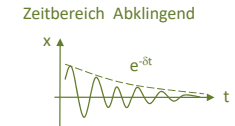
Für  $\delta < \omega_0$  werden 3 Fälle unterschieden:

1. Fall:  $\delta < 0$



Differentialgleichung:  
 $m\ddot{x} + k\dot{x} + cx = 0 \quad \Sigma F=0$   
(homogene Lineare DGL 2. Ordnung)  
vektoriell gleiche Form!

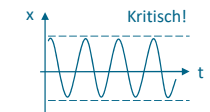
2. Fall:  $\delta > 0$



Ungedämpfte  
Kennkreisfrequenz  $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$

Abklingkonstante  $2\delta = k/m$   
 $\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$

3. Fall:  $\delta = 0$

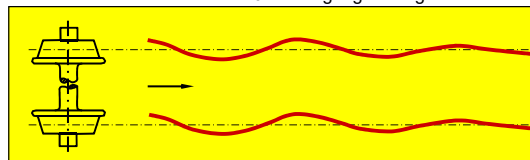


Weitere Größen zur Beschreibung der Dämpfung:  
Dämpfungsgrad Theta (dimensionslos)  $\vartheta = \frac{\delta}{\omega_0} = D$   
auch Lehr'sches Dämpfungsmaß D

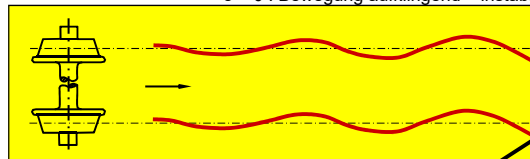
## 4.2 Geradeauslauf Stabilität des Radsatzlaufes

### ▪ Radsatzlauf in der Geraden

$\delta > 0$  : Bewegung abklingend



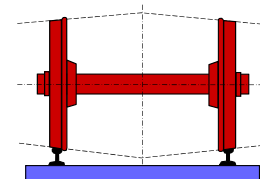
$\delta < 0$  : Bewegung aufklingend = instabil



Spurkranzlauf mit unerwünschten Kräften

## 4.2 Geradeauslauf Bedeutung der Spurführung

Neben der Bremstechnik und der Signaltechnik ist die Spurführungstechnik eine der tragenden Säulen der Sicherheit in der Bahntechnik



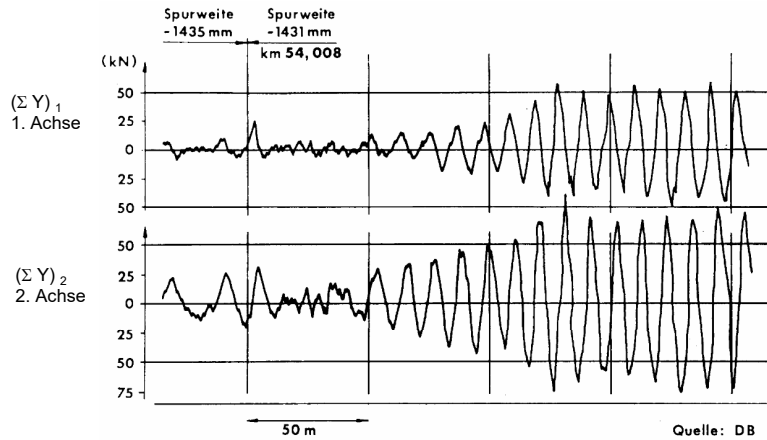
Schwingungseffekte haben einen wesentlichen Einfluss auf die Fahrsicherheit.



Eine Entgleisung ist der Schrecken jeden Eisenbahners

## 4.2 Geradeauslauf Spurführungskräfte

### Spurführungskräfte Lok 181.2 ohne Drehdämpfer



Quelle: DB

## 4.2 Geradeauslauf Wirkung der Drehdämpfer

### Spurführungskraft (BR 181.2)

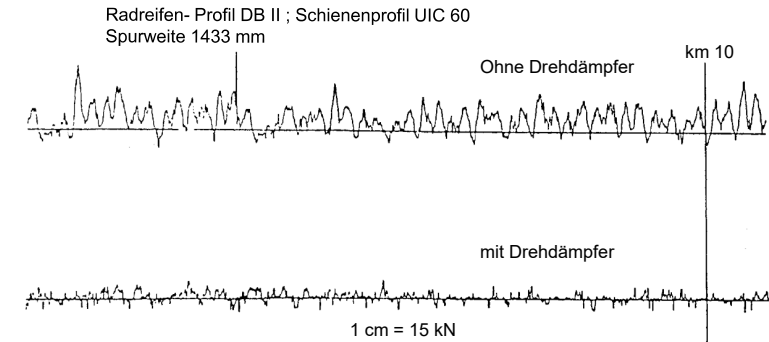
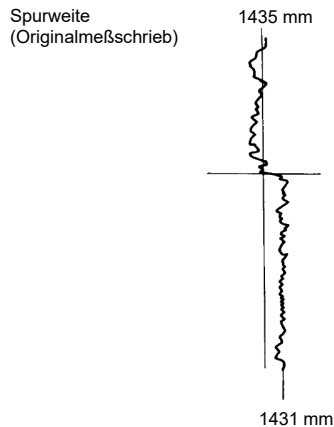


Bild 13. Spurführungskraft eines Rades des führenden Radsatzes,  
 $v = 180 \text{ km/h}$ , gerades Gleis.

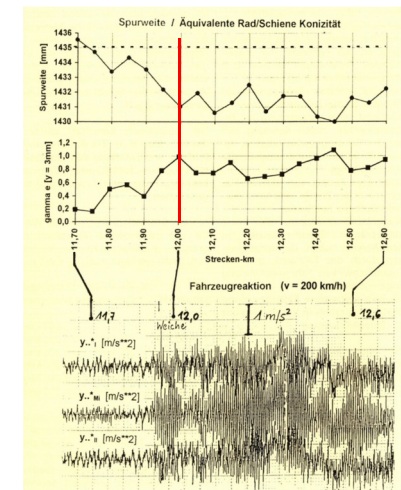
## 4.2 Geradeauslauf Berührungsgeometrie Wechsel der Spurweite



Gleis Emmerich - Wesel km 54,0

## 4.2 Geradeauslauf Beispiel Änderung der äquivalenten Konizität

Wagenkastenquerschwingungen als  
Funktion von Spurweite und  
äquivalenter Konizität



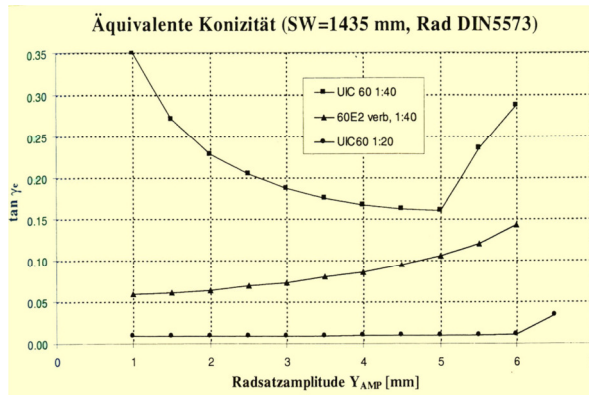
Quelle: ETR 48 (1999), H.9  
Dr. von Madeyski  
Fahrwerkstechnik-  
im Zusammenwirken mit dem  
Fahrzeug und dem Fahrzeugkasten



## 4.2 Geradeauslauf

### Beispiel Änderung der äquivalenten Konizität

Verbesserung der äquivalenten Konizität durch geändertes Schienkopffprofil „UIC 60 E 2 verbessert“

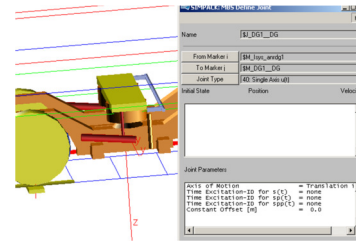


Quelle: ETR 48 (1999), H.9  
Dr. von Madeyski  
Fahrwerkstechnik-  
im Zusammenwirken mit dem  
Fahrzeug und dem Fahrzeuggkasten

## 4.2 Geradeauslauf

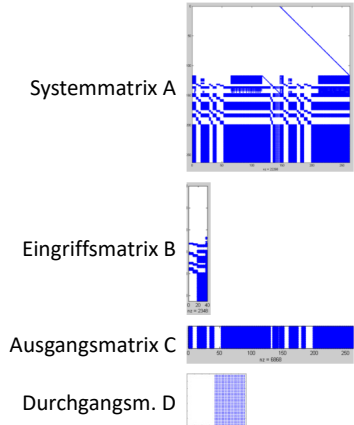
### Stabilität (Systemdynamik)

Mechanisches Modell



Linearisierung x- Zustandsvektor,  
y Ausgangsvektor  
u-Eingangsvektor:  
 $\dot{x} = Ax + Bu$   
 $y = Cx + Du$

Systemmatrizen und typische Besetztheit-Patterns



## 4.2 Geradeauslauf

### Wurzelortskurven

Mit Linearisierung geht das Differentialgleichungssystem über in

$$\underline{M} \cdot \ddot{x} + \underline{D} \cdot \dot{x} + \underline{C} \cdot x = 0$$

wobei

$\underline{M}$  = Massenmatrix  
 $\underline{D}$  = Dämpfungsmatrix  
 $\underline{C}$  = Steifigkeitsmatrix

Die Dämpfungsmatrix ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit v:

$$\underline{D} = \underline{D}_1 + \frac{1}{v} \cdot \underline{D}_2 + v \cdot \underline{D}_3$$

Das DGL- System ist damit ein System mit konstanten Koeffizienten und der Fahrgeschwindigkeit v als Parameter. Die Lösungen des DGL- Systems, die „Eigenwerte“ haben die Form:

$$\lambda = a \pm i\omega = \text{Re} \pm i \cdot \text{Im} \quad \text{Eigenwert}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \text{Im} \quad \text{Frequenz}$$

Dämpfungsmaß

$$D = \frac{\text{Re}}{\sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}}$$

Löst man das DGL- System für schrittweise wachsendes v, erhält man Werte

$\lambda = f(v)$  „Wurzelortskurven“ in komplexer Zahlenebene

## 4.2 Geradeauslauf

### Wurzelortskurven

Wurzelortskurve DG-Sinuslauf im Gesamtsystem (Fahrzeug)

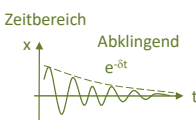
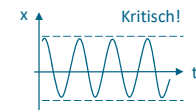
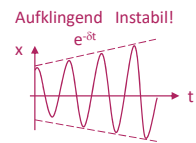
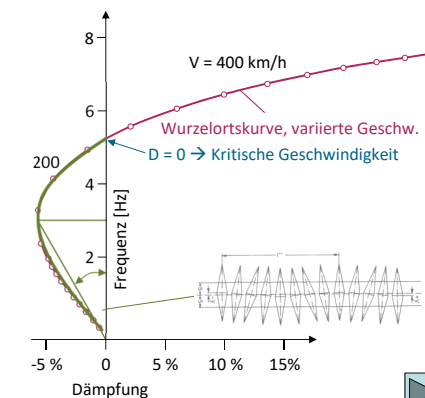
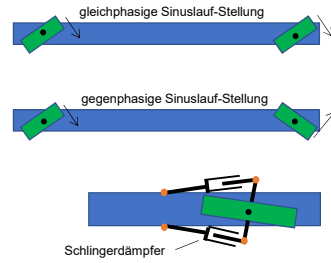
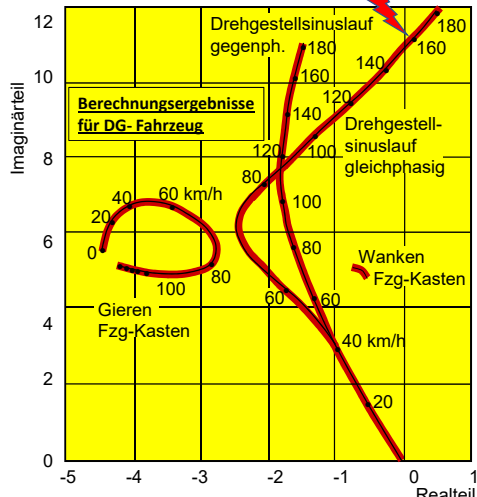


Bild 1: Gleisverwerfung, verursacht durch ein französisches Lokomotivgespann BB 9004 bei der Weltrekordfahrt mit 331 km/h am 29. März 1955.

## 4.2 Geradeauslauf

### Fahrzeugeigenverhalten Wurzelortskurven



Eigenwerte  $\lambda = a \pm i\omega$   
 Realteil  $\text{Re}(\lambda) = a$   
 Imaginärteil  $\text{Im}(\lambda) = \pm \omega$   
 gedämpfte Frequ.  $f = \pm \frac{1}{2\pi} \text{Im}(\lambda)$   
 Dämpfungsmaß  $D = \frac{-\text{Re}(\lambda)}{\sqrt{\text{Re}(\lambda)^2 + \text{Im}(\lambda)^2}}$

## Gliederung

### Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

### Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

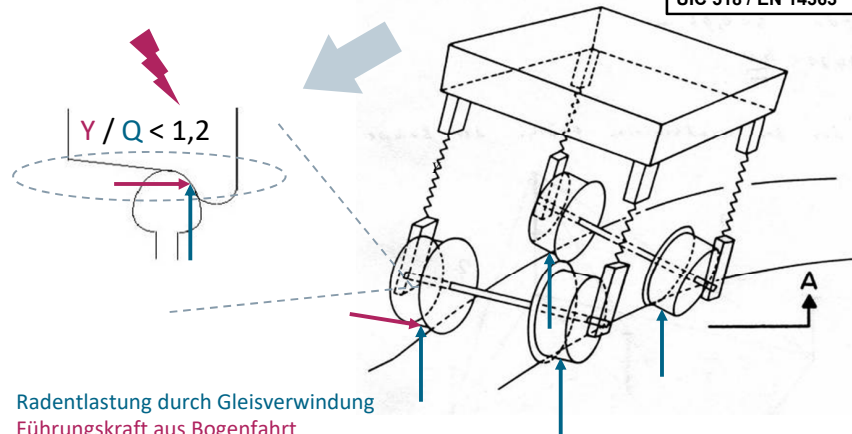
### Messtechnik

## 4.3 Auslegungsrechnung

### Grenzwerte der Fahrsicherheit

Sicherheit gegen Entgleisung in der Gleisverwindung

Fahrtechnik-Normen  
UIC 518 / EN 14363

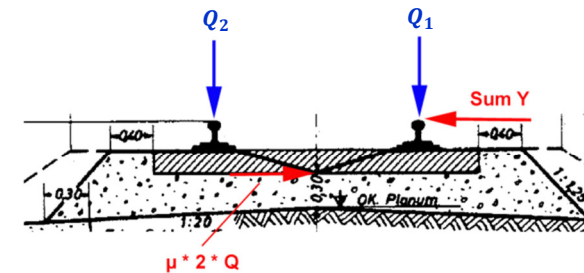


Radentlastung durch Gleisverwindung  
Führungskraft aus Bogenfahrt

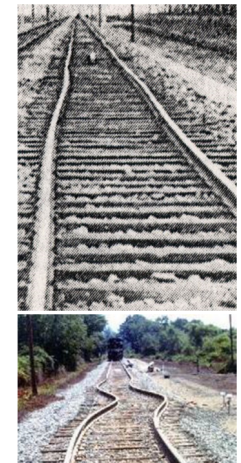
## 4.3 Auslegungsrechnung

### Grenzwerte der Fahrsicherheit

Prud'homme-Limit Sicherheit gegen Gleisrostverschiebung



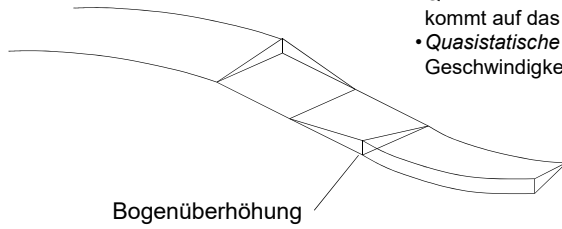
$$\sum Y_{\text{lim}} = k \left( 10 + \frac{Q_1 + Q_2}{3} \right)$$



### 4.3 Auslegungsrechnung Entgleisungssicherheit

ERRI B 55 RP 8  
Befahrbarkeit von Gleisverwindungen

- Ursachen für Gleisverwindungen sind z.B. Bogenüberhöhungen oder Gleislagefehler
- Gefederte Fahrwerke folgen zwar dem Schienenverlauf, es gibt aber Radbe- und entlastungen
- Radaufstandskräfte dürfen nicht zu klein und Querkräfte dürfen nicht zu groß werden. Es kommt auf das Verhältnis Y/Q an.
- Quasistatische Betrachtung bei niedrigen Geschwindigkeiten

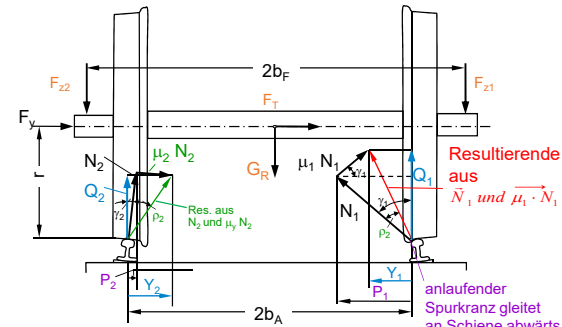


Durchfahren von Gleisverwindungen

Sicherstellen, dass beim Befahren von Gleisverwindungen Entgleisungen verhindert werden

### 4.3 Auslegungsrechnung Entgleisungssicherheit

**Situation:** Anlauf am Rad 1, bei Rad 2 Spiel zwischen Spurkranz und Schiene. In der senkrechten Querebene wirken im Berührungspunkt immer die Normalkraft N und die Gleitkraft  $\mu N$ . Die **Resultierende** daraus kann auch aus **Senkrecht- (Q)** und **Querkraft (Y)** zusammengesetzt gedacht werden.



Die Führungskräfte  $Y_1$  und  $Y_2$  beiderseits nach gleisinnen gerichtet wirken auf die Schienen des Gleises spreizend, Gleis wird auf Spurhaltefähigkeit beansprucht

- $F_{z1,2}$  Senkrechte vom Fahrzeug ausgeübte Kräfte
- $F_y$  Summe der Lager- Querkräfte
- $N_1$  Normalkraft N1 in Spurkranzhohlkehle wirkend
- $\mu_2 N_2$  Gleitwiderstand des nicht anlaufenden Rades zur Gleisinnenseite gerichtet
- $G_R$  Eigengewicht des Radsatzes
- $\rho_2$  Reibungswinkel
- $F_T$  Massenkraft bei Querbeschl.
- $P_{1,2}$  „Richtkräfte“  $\wedge$  Horizontal- Komponenten von  $N_1, N_2$
- $Q_{1,2}$  senkrechte Radkraft = vertikale Komponente der Resultierenden
- $Y_{1,2}$  horizontale Komponente der Resultierenden Führungskraft  $\rightarrow$  Wirkt stets nach Radinnenseite

### 4.3 Auslegungsrechnung Entgleisungssicherheit

Y/Q ist ein Maß für die Führungsfähigkeit des Rades. Welche Y/Q-Werte kann ich erzeugen (und zulassen)?

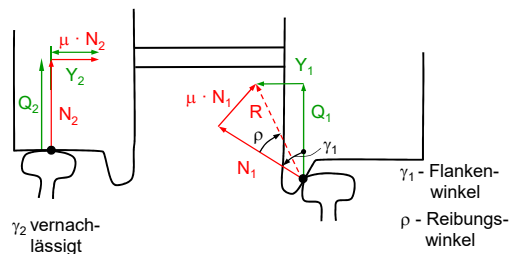
ERRI B 55 RP 8, Befahrbarkeit von Gleisverwindungen

$$Y_1 = \mu * N_1 \cos(\gamma) - N_1 \sin(\gamma)$$

$$Q_1 = -N_1 \cos(\gamma) - \mu * N_1 \sin(\gamma)$$

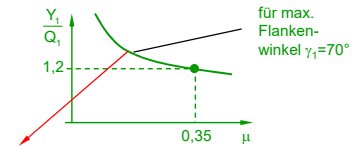
$$\Rightarrow \frac{Y_1}{Q_1} = \frac{\tan(\gamma) - \mu}{1 + \mu * \tan(\gamma)}$$

Grenzwert von Nadal



### 4.3 Auslegungsrechnung Entgleisungssicherheit

Der Grenzwert von Nadal wird nur durch den Spurkranzflankenwinkel des Radprofils und den Reibwert zwischen Rad und Schiene bestimmt.



Die Kurve gibt zu jedem Reibwert  $\mu$  das zulässige Verhältnis Y/Q an. Bis  $\mu=0,35$  ist daher die Spurführung sicher, wenn die Querkraft Y die Aufstandskraft Q um höchstens 20% übersteigt.

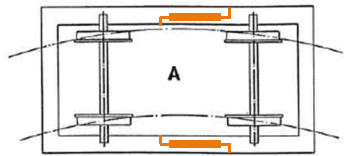
Nach ERRI B55 RP8 ist  $\frac{Y}{Q}$  der Entgleisungssicherheits-Koeffizient bei Gleisverwindungen.

$\lim \frac{Y}{Q} = 1,2$  nur statische Betrachtung am Profil

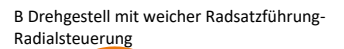
Nicht dynamisch ! (nur geeignet für Beurteilung von Gleisverwindungen) Dynamik in UIC 518 geregelt.

## 4.3 Auslegungsrechnung Kritische Geschwindigkeit

- Drehgestell-Parameter mit wesentlichem Einfluss



A Drehgestell mit steifer Radsatzführung



B Drehgestell mit weicher Radsatzführung- Radialsteuerung

Nach: Müller R und Saliger W.

Achsführungssteifigkeit  
Schlingerdämpfer  
Aufhängung des Antriebs

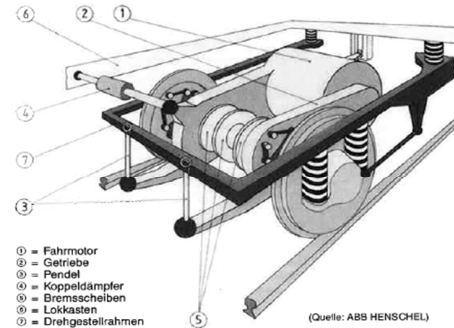


Bild 5: Prinzip der Motor-/Antriebsaufhängung des ICE

- ① = Fahrmotor
- ② = Getriebe
- ③ = Pendel
- ④ = Koppeldämpfer
- ⑤ = Bremscheiben
- ⑥ = Lokkasten
- ⑦ = Drehgestellrahmen

## 4.3 Auslegungsrechnung Beispiel Nachweisrechnung

Beurteilungskriterien		Nachweisrechnungen								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Eigenverhalten (Grenzzykel)	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Laufverhalten in der Betriebs	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
2	Störgrößeneinwirkung	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	3	Laufverhalten in Gleisbögen	Quasistat. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Dynam. Verhalten			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
4	Laufverhalten in Gleisbögen	Quasistat. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
		Dynam. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
5	Vertikaldynamik beim Befahren von Brücken	Quasistat. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
		Dynam. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
6	Befahrbarkeit von Gleisverwindungen / ORE BSS	Quasistat. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
		Dynam. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
7	Vertikaldynamik beim Befahren von Kuppen und Karven	Quasistat. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
		Dynam. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
8	Stabilität gegen Entgleisen	Quasistat. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
		Dynam. Verhalten	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	

Beurteilungskriterien und dazu notwendige Nachweisrechnungen zum Fahrzeuglauf

Zum Beispiel:  
 $v_{krit}$

✗ beispielhafte Aufstellung:

Die mit Nachweisrechnungen zu belegenden Kriterien werden von Fall zu Fall zwischen dem Lieferanten und der zulassenden Behörde vereinbart.

## 4.3 Auslegungsrechnung Abkürzungen der Institutionen und Regelwerke

**UIC:** Union International de Chemin de Fer (Internationaler Eisenbahnverband)  
**UNIFE:** Verband der Eisenbahnindustrie

früher ORE: Office de Recherches et d'Essais (ersetzt durch ERRI)  
früher ERRI: European Railway Research Institute  
heute ERA: European Railway Agency

**Normen:**  
DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.)  
EN (Europäische Normen)  
FSF (Fachnormen für Schienenfahrzeuge)

**Richtlinien im Gesetzesrang:**  
TSI (Technical Specification for Interoperability) Verantwortung ERA z.B. anzuwenden ab 01.01.2015  
TSI LOC&PAS (Locomotives and passenger rolling stock)  
TSI WAG (Rolling stock – freight wagons)  
TSI PRM (Persones with reduced Mobility)  
TSI SRT (Safety in Railway Tunnels)  
TSI NOI (Noise)  
TSI INF (Infrastructure)  
TSI CCR (Control command and signalling)  
TSI ENE (Energy)

Quelle:  
Doppelbauer: Die Aktivitäten der Eisenbahngüter der europäischen Union, ZEVrail 141(2017) 5 Mai, S175ff

## 4.3 Auslegungsrechnung Beispiel TSI

Beispiel: TSI HS RST für

Fahrzeuge der Klasse 1: 250 bis 350 km/h  
Fahrzeuge der Klasse 2: 190 bis 249 km/h  
ab 351 km/h ist die TSI anzuwenden, mit Zusatzspezifikationen auf transeurop. HGV-Bahnsystem gemäß EU-Ri 96/48/EG

**TSI – Gliederung:**  
Teil 1 Gesetzestext  
Teil 2 Text der TSI

1. Einleitung
2. Definition und Funktionen des Teilsystems „Fahrzeuge“
3. Grundlegende Anforderungen
4. Merkmale des Teilsystems
  - 4.2.1 Allgemeines
  - 4.2.2 Struktur und mechanische Teile
  - 4.2.3 Fahrzeug-Gleis-Interaktion und Fz.-Begrenzungslinie
  - 4.2.4 Bremsanlagen
  - 4.2.5 Fahrgastinformationssysteme und Kommunikation
  - 4.2.6 Umgebungsbedingungen
  - 4.2.7 Systemschutz
  - 4.2.8 Antriebs- und elektrische Ausrüstung
  - 4.2.9 Wartung
  - 4.2.10 Instandhaltung

5. Interoperabilitätskomponenten
  6. Bewertung der Konformität und/oder der Gebrauchstglk.
  7. Umsetzung der TSI „Fahrzeuge“
- Teil 3 Anhänge

## 4.3 Auslegungsrechnung Beispiel TSI

Beispiel: TSI HS RST 2006 (Entwurf)

In der umfangreichen Spezifikation finden sich auch systematisch die hier behandelten Themen zur Fahrdynamik. Diese beziehen sich wieder auf Anhänge und Dokumente mit Details wie z.B. UIC 518 etc.

4.2.3	Fahrzeug-Gleis-Interaktion und Fahrzeugbegrenzungslinie	42
4.2.3.1	Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf	42
4.2.3.2	Statische Radsatzlast	42
4.2.3.3	Fahrzeugparameter, die stationäre Zugüberwachungssysteme beeinflussen	43
4.2.3.3.1	Elektrischer Widerstand	43
4.2.3.3.2	Überwachung des Zustands der Achslager	43
4.2.3.3.2.1	Züge der Klasse 1	43
4.2.3.3.2.2	Züge der Klasse 2	44
4.2.3.3.2.3	Heißläuferformung bei Zügen der Klasse 2	45
4.2.3.3.2.3.1	Allgemeines	45
4.2.3.3.2.3.2	Funktionale Anforderungen an das Fahrzeug	45
4.2.3.3.2.3.3	Quermaße und Höhe der Zielfläche über der Schienenoberkante	45
4.2.3.3.2.3.4	Längsmaße der Zielfläche	45
4.2.3.3.2.3.5	Grenzwerte für Abstände zur Zielfläche	46
4.2.3.3.2.3.6	Emissionsvermögen	46
4.2.3.4	Dynamisches Verhalten der Fahrzeuge	47
4.2.3.4.1	Allgemeines	47
4.2.3.4.2	Grenzwerte für Laufsicherheit	48
4.2.3.4.3	Grenzwerte für die Gleisbeanspruchung	50
4.2.3.4.4	Rad-Schiene-Schnittstelle	51
4.2.3.4.5	Auslegung für Fahrzeugstabilität	51
4.2.3.4.6	Definition der äquivalenten Konazität	52
4.2.3.4.7	Werte für Radprofile beim Entwurf	52
4.2.3.4.8	Werte für die äquivalente Konazität im Betrieb	53
4.2.3.4.9	Radsätze	54



## 4.3 Auslegungsrechnung Sicherheit gegen Gleisrostverschiebung

Fahrtechnische Prüfung und Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen  
Ermittlung aus Gesamtfahrzeugsimulation und Bestätigung durch Versuche

(nach UIC 518)

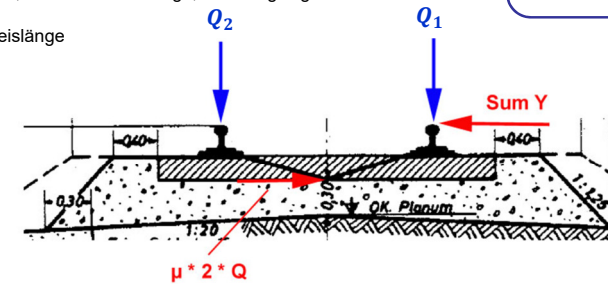
$$\sum Y_{\max} = k \left( 10 + \frac{Q_1 + Q_2}{3} \right)$$

Prud'homme – Wert:  
Grenze für die Querbelastung des Gleisrostes im Schotter

k = 0,85 für Güterwagen  
k = 1,0 für Triebfahrzeuge, Reisezugwagen

Sicherstellen, dass es nicht zu einer Gleisrostverschiebung kommt.

auf 2 Meter Gleislänge



## 4.3 Auslegungsrechnung Sicherheitsgrenzwerte nach UIC 518

Fahrtechnische Prüfung und Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen  
Ermittlung aus Gesamtfahrzeugsimulation und Bestätigung durch Versuche  
Quasistatische Betrachtung :  $Y_{\lim} = 60 \text{ kN}$   
 $Q_{\lim} = 145 \text{ kN (wg. Oberbau)}$

dynamisch :  $\lim \left( \frac{Y}{Q} \right) = 0,8$

dynamisch :  $\sum Y_{\max} = k \left( 10 + \frac{Q_1 + Q_2}{3} \right)$

k = 0,85 für Güterwagen  
k = 1,0 für Triebfahrzeuge, Reisezugwagen  
auf 2 m Gleislänge

und diverse Beschleunigungswerte

z.B.  $\ddot{Y}_{\max} = 2,5 \frac{m}{\text{sec}^2}$

$\ddot{Z}_{\max} = 2,5 \frac{m}{\text{sec}^2}$

am Drehgestellrahmen und im Wagenkasten

Sicherstellen, dass

- der Oberbau nicht überlastet wird
- die dynamische Führungsfähigkeit vorhanden ist.
- dass es nicht zu Gleisrostverschiebungen kommt
- dass sicherheitsrelevante Beschleunigungswerte eingehalten werden

## Gliederung

### Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

### Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

### Messtechnik

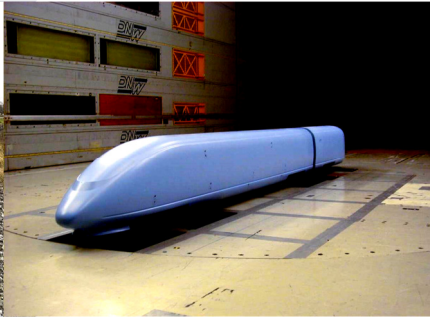
## 4.4 Seitenwindwirkung

- Seitenwind kann die Sicherheit im Bahnbetrieb erheblich beeinflussen

Von 30 m/s Windböen umgeworfene Regionalbahn bei Uttendorf /Österreich, 17. November 2002



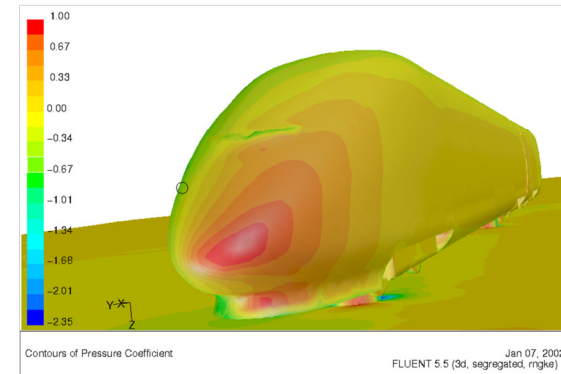
Versuche im Windkanal mit maßstäblichen Triebzugmodell (Drehteller, Messeinrichtungen)



## 4.4 Seitenwindwirkung

- Besonders das führende Fahrzeug wird belastet

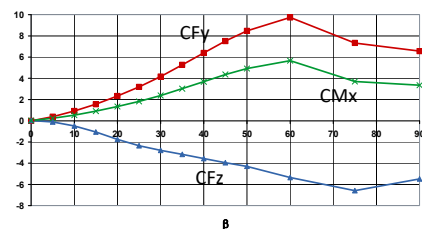
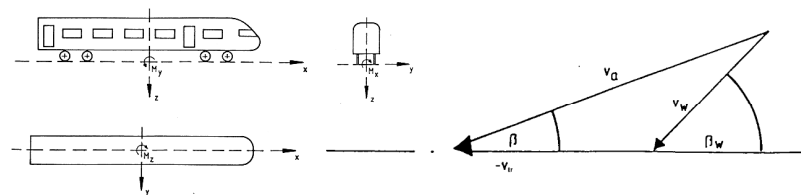
Die Druckverteilung auf den Wagen wird unter Seitenwind asymmetrisch. Die aerodynamischen Seitenkräfte und der Auftrieb drohen das Fahrzeug umzukippen.



Druckbelastung durch Seitenwind

## 4.4 Seitenwindwirkung Kräfte in Abhängigkeit vom Schiebewinkel

Die Anströmgeschwindigkeit zählt!

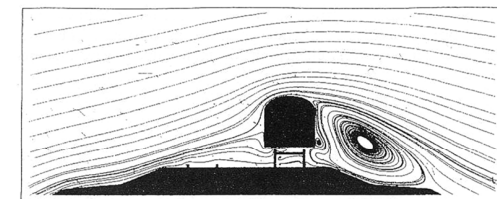


Windkanalergebnisse ICE 3 Endwagen

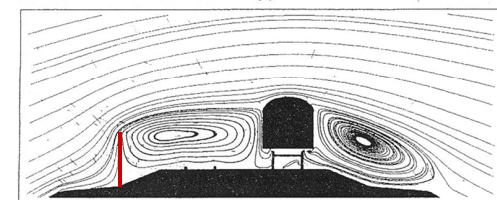
## 4.4 Seitenwindwirkung Infrastruktureinfluss

Schutzwände als effektiver Windschutz

Ohne Windschutz

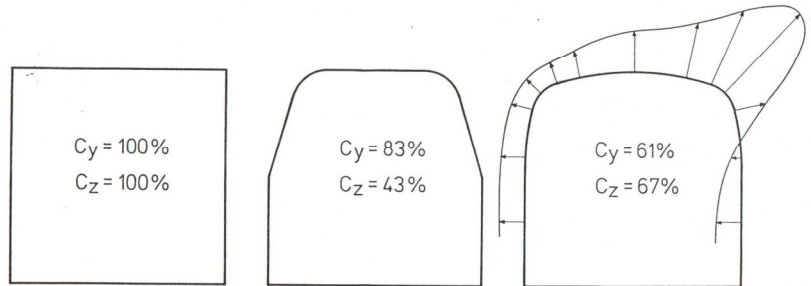


Mit Windschutz  
Rollmoment effektiv reduziert



## 4.4 Seitenwindwirkung Einfluss Querschnittsform

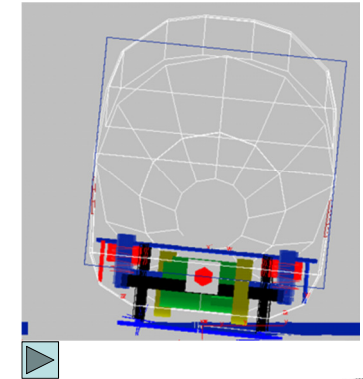
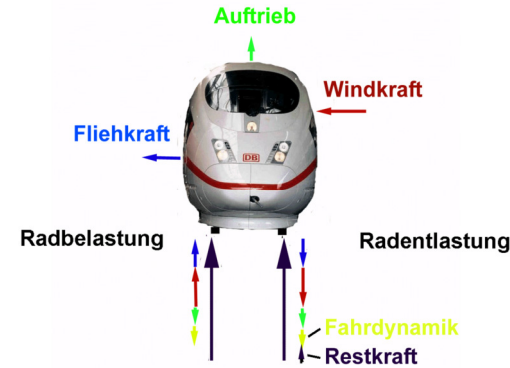
Einfluss der Querschnittsform eines Wagens auf seine Belastung  
(Seitenkraftbeiwert  $C_y$ , Auftriebsbeiwert  $C_z$ ) bei Seitenwind



## 4.4 Seitenwindwirkung Kraftmodell und Auswirkung

Kraftmodell mit äußeren Einflussfaktoren,  
welche die Radaufstandskräfte  
erhöhen oder vermindern

Auswirkung auf das Laufverhalten  
der Drehgestelle



## Gliederung

### Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

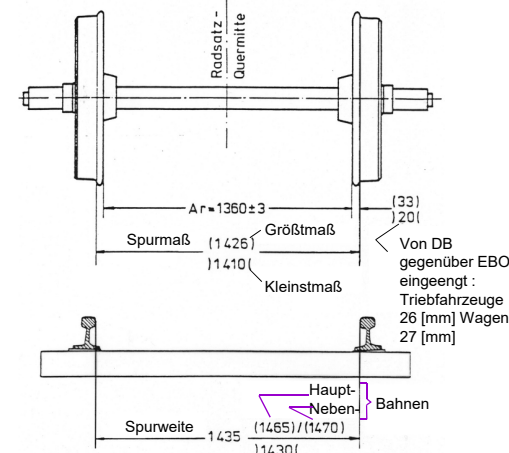
### Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

### Messtechnik

## 4.5 Bogenlauf Spurmaß und Spurweite

Gemäß Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO)



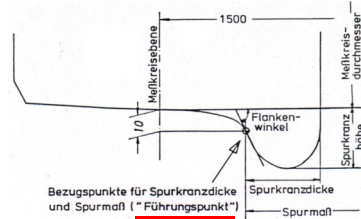
Grundmaße des Radsatzes und des Gleises  
gemäß EBO und UIC - Merkblatt 510 -2  
( gültig ab 1.1.1978 für Wagen )

1435 mm  $\pm$  4 ' 8 1/2 "  $\rightarrow$  Spurweite der ersten  
englischen Eisenbahn. Die EBO setzt für  
Abweichungen vom Grundmaß Toleranzen  
fest (s.o.).  
Zur Erleichterung des Laufes von Fahrzeugen  
mit großem Achsstand durch enge  
Bögen  $\rightarrow$  vergrößerte Spurweiten in  
Abhängigkeit vom Halbmesser vorgeschrieben  
 $\rightarrow$  planmäßige Spurenerweiterung

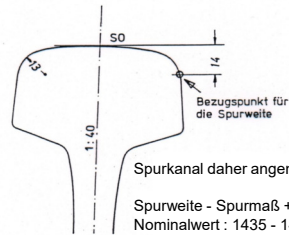
## 4.5 Bogenlauf Maße zum Spurkanal

Gemäß Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO)

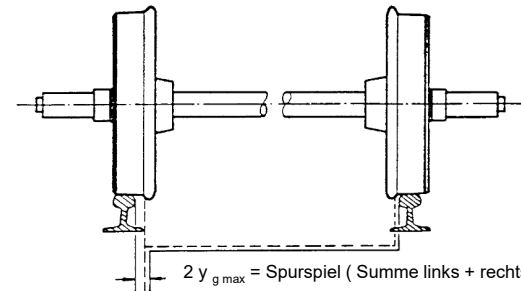
Spurmaß und Spurweite werden in verschiedenen Höhen gemessen  
→ sind daher nicht unmittelbar miteinander in Beziehung zu bringen



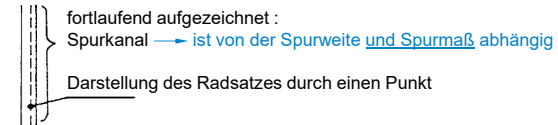
Bezugspunkte an Rad und Schiene für die Messung von Spurweite, Spurmaß und Spurkranzdicke



## 4.5 Bogenlauf Querschrumpfung / Spurspiel / Spurkanal

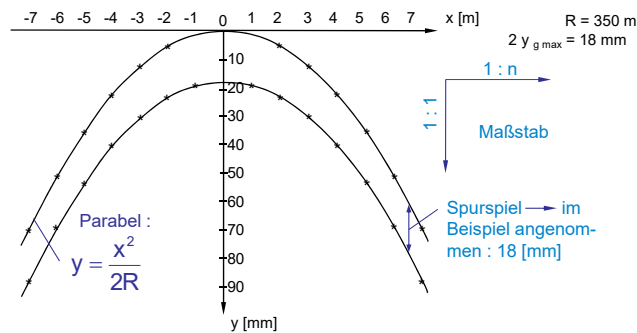


Die Radsätze haben in Querrichtung im Gleis Spiel. Zur Darstellung wird der Radsatz in Querrichtung geschrumpft, so dass die Führungspunkte der beiden Räder zusammenfallen → der Radsatz erscheint als Punkt und von der Spurweite des Gleises bleibt nur das „Spurspiel“ oder der Spurkanal als Summe der Spiele zwischen den Spurkranzen und Schienen übrig



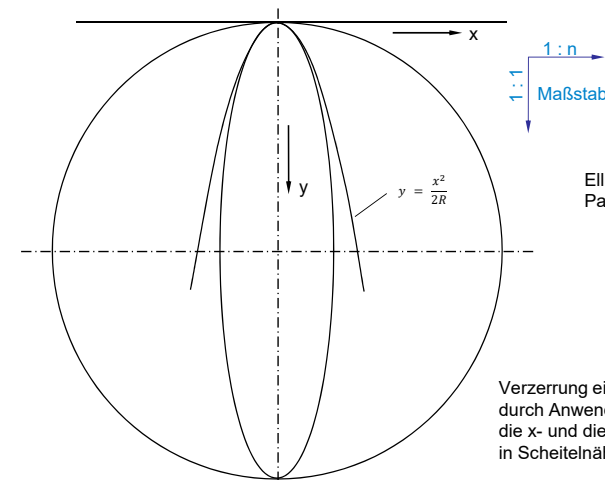
## 4.5 Bogenlauf Darstellung eines Gleisbogens nach VOGEL

Quergeschrumpfter Gleisbogen → Ellipse → wird angenähert durch Parabel



Quelle: Darstellung eines Gleisbogens nach VOGEL, Zeichnerische Untersuchung der Bogenbeweglichkeit von Eisenbahnfahrzeugen, Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 81 (1926), Heft 17

## 4.5 Bogenlauf Querschrumpfung des Gleisbogens zur Ellipse



Ellipse wird in Scheitelnähe durch Parabel angenähert

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

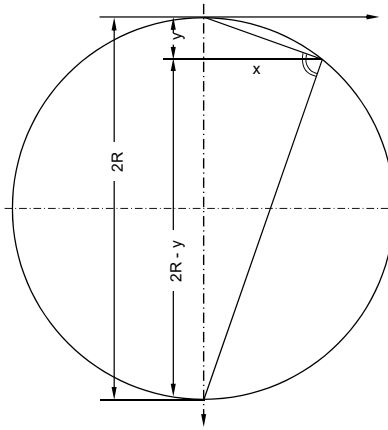
Verzerrung eines Gleisbogens zu einer Ellipse durch Anwendung verschiedener Maßstäbe für die x- und die y- Achse ; Annäherung der Ellipse in Scheitelnähe durch eine Parabel



# 4.5 Bogenlauf

## Gleisbogendarstellung nach VOGEL

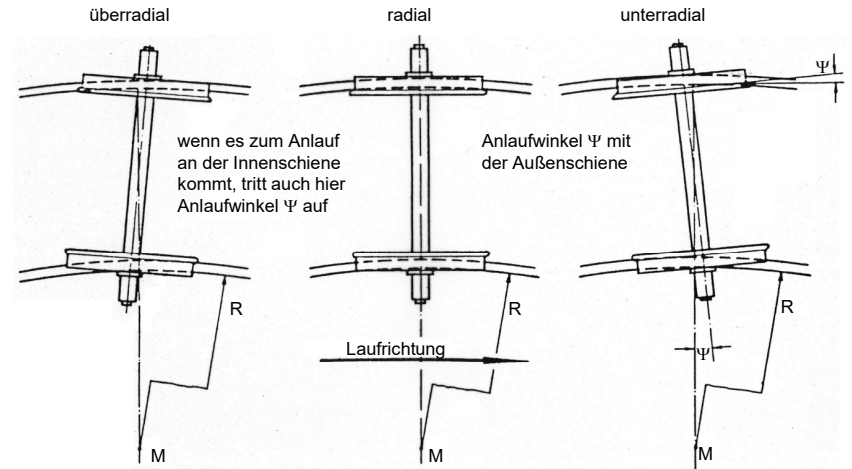
### Ableitung mit Fehlerrechnung



Zur Ableitung der Näherungsgleichung für das Verfahren nach VOGEL  
 Nach dem Satz des Thales gilt:  $x^2 = y \cdot (2R-y)$   
 Da bei den bei Vollbahnen vorkommenden Bogenhalbmessern  $y$  sehr klein gegen  $2R \rightarrow y$  in Klammer vernachlässigt  
 $\rightarrow x^2 = y \cdot 2R \rightarrow y = x^2/2R$  Ansatz von VOGEL  
 Fehlerbetrachtung : wahrer Wert von  $y \rightarrow y_w = x^2 / (2R-y)$   
 Differenz  $\Delta y = y_w - y \rightarrow \frac{\Delta y}{y_w} = \frac{y_w - y}{y_w} = 1 - \frac{y}{y_w}$   
 $\frac{\Delta y}{y_w} = 1 - \frac{x^2}{2R} \cdot \frac{2R-y}{x^2} = \frac{y}{2R}$   
 → Relativer Fehler für  
 $R = 100 \text{ m}$  und  $y = 200 \text{ mm}$   
 → 0,1% von  $y$ , also 0,2 mm  
 → Größenordnung der Zeichengenauigkeit

# 4.5 Bogenlauf

## Stellungen des Radsatzes im Gleisbogen

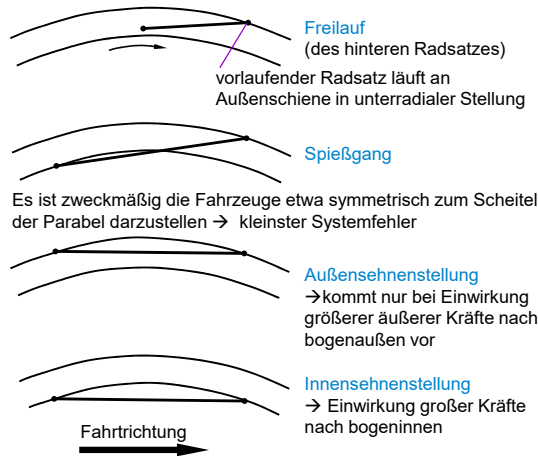


wenn es zum Anlauf an der Innenschiene kommt, tritt auch hier Anlaufwinkel  $\Psi$  auf

Anlaufwinkel  $\Psi$  mit der Außenschiene

# 4.5 Bogenlauf

## Stellung mit 2 Radsätzen im Gleisbogen

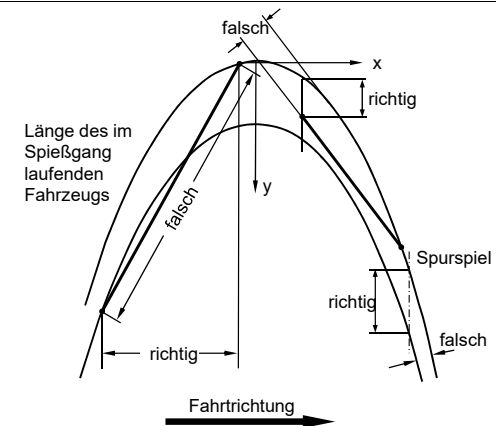


Als einfachster Fall ist ein Fahrzeug oder Gestell mit 2 Radsätzen betrachtet, die in den Radsatzlagern kein Spiel haben und im Rahmen spielfrei in Längs- und Querrichtung geführt werden  
 → Radsätze können relativ zur Fahrzeuglängsachse nicht schwenken  
 → rollen in Richtung der Fahrzeuglängs-achse: „steifachsiges“ Fahrzeug

Bei theoretischen Untersuchungen kann es zweckmäßig sein zunächst eine der Extrem- Stellungen (äußere oder innere Sehenstellung) anzunehmen

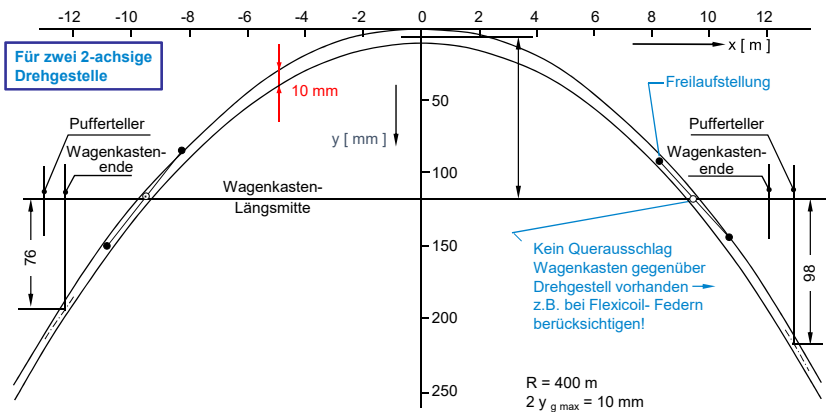
# 4.5 Bogenlauf

## Anwendung des Verfahrens von VOGEL



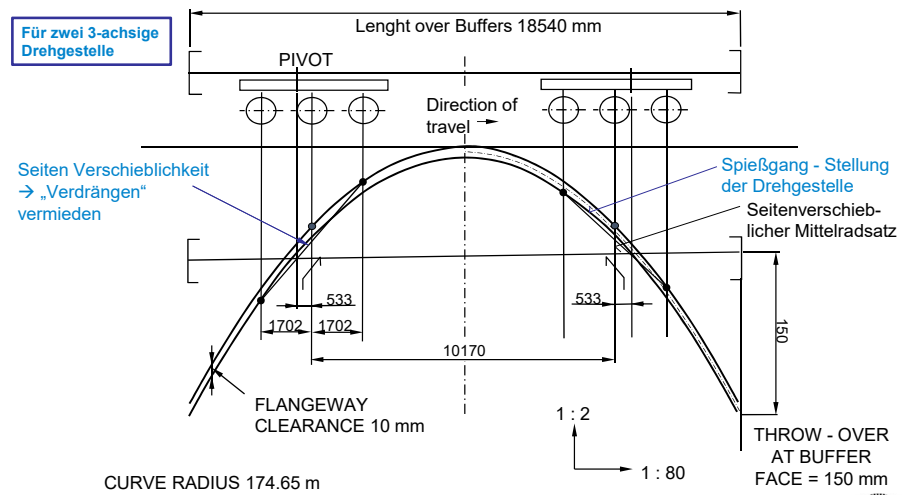
Richtungen, in denen beim VOGEL- Verfahren zu messen ist (Koordinatenrichtungen nie „mischen“)

## 4.5 Bogenlauf Stellungsbild nach VOGEL



Bestimmung des Überhangs eines Wagens und des Seitenausschlags seiner Puffer im Bogen  
Diese Art der Untersuchung eignet sich nicht für die Bestimmung der notwendigen Breitereinschränkung von Fahrzeugkästen mit Rücksicht auf die Bogenbefahrbarkeit → besonderes Verfahren mit einschlägigen Vorschriften (siehe Kapitel 4.6ff)

## 4.5 Bogenlauf Stellungsbild nach VOGEL



## Gliederung

### Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

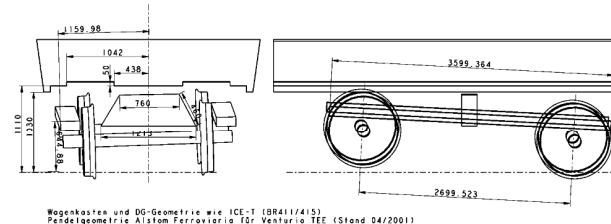
### Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

### Messtechnik

## 4.6 Grundbegriffe Freigängigkeit

### Freigängigkeit – Fahrwerk / Wagenkasten “Fahrwerkhülle im System Wagenkasten” Bewegungen für Fall “Rampe”



Wagenkasten und DG-Geometrie wie ICE-T (BR411/415)  
Pendelgeometrie Alstom Ferroviaria für Venturio TEE (Stand 04/2001)

Ausdrehwinkel	1.00
Wankwinkel primär	0.60
Wankwinkel sekundär	0.50
Nickwinkel	3.00
Längsweg	-15.00
Quersweg primär	+9.00
Quersweg sekundär	-50.00
Einlefedera primär	10.00
Einlefedera sekundär	40.00
Neigungswinkel	1.00

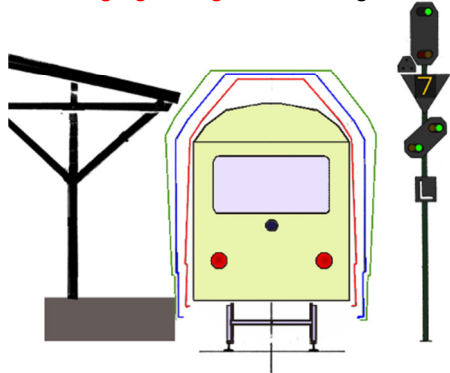
Revisions-Nr.	0	Beschreibung	1:20	Größe	A4
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Geprüft		Geprüft		Geprüft	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	
Gezeichnet		Gezeichnet		Gezeichnet	

TS TR EN 02 / Götthold  
ENTWURF 20.09.01

Fahrwerkhülle =  
Konstruktions-Außenfläche,  
„Im System Wagenkasten“:  
Überlagerung aller  
Bewegungen, Verschleiß-  
Bänder und Toleranzen

## 4.6 Grundbegriffe Fahrzeugbegrenzung UIC 505

- Gemeinsame **Bezugslinie** für Infrastruktur und Fahrzeug
- **Grenzzlinie für feste Anlagen:** Infrastruktur
- **Fahrzeugbegrenzungslinie:** Fahrzeug



### Statische Einschränkung

- Stillstand bei Mittelstellung
- Spur-/Querspiel inkl.

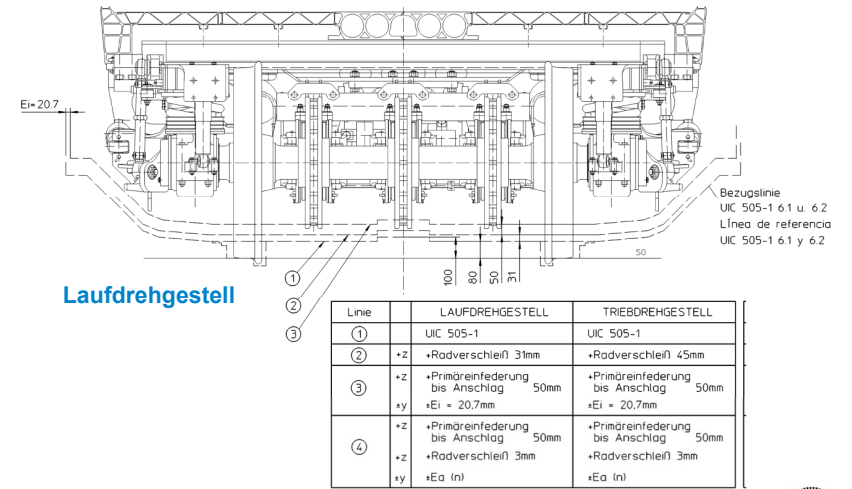
### Kinematische Einschränkung

- Statische Einschränkung plus
- Quasistatische Bewegung aufgrund Federung

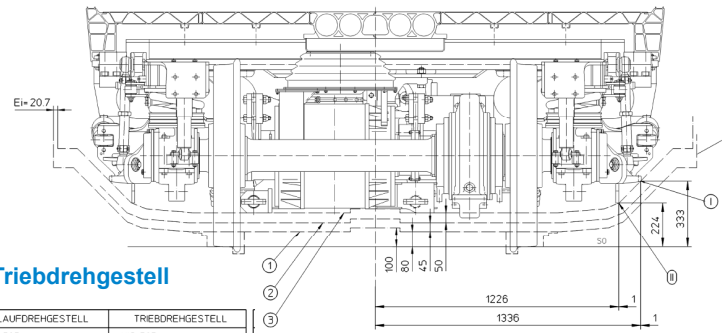
### Dynamische Einschränkung

- Auf Basis von MKS-Modellen
- Fahrzeug-/Gleisbedingung

## 4.6 Grundbegriffe Fahrwerkbegrenzung UIC 505

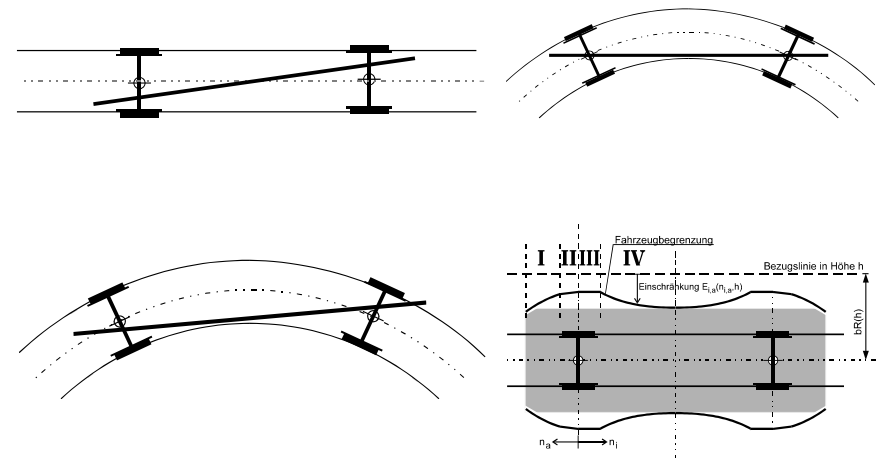


## 4.6 Grundbegriffe Fahrwerkbegrenzung UIC 505



### Triebdrehgstell

## 4.6 Grundbegriffe Fahrzeugbegrenzung Gerade / Gleisbogen



# Gliederung

## Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

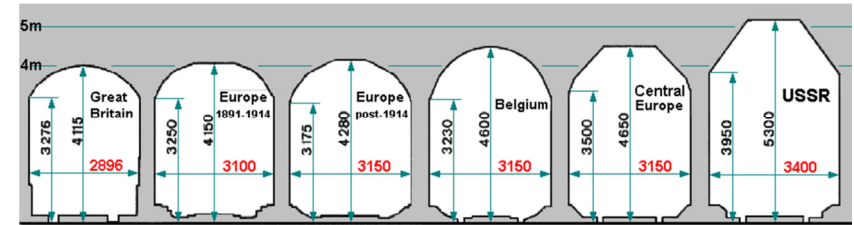
## Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

## Messtechnik

# 4.7 Fahrzeugbegrenzung Internationaler Vergleich

Hüllraum im internationalen Vergleich



# 4.7 Fahrzeugbegrenzung Bezugslinien

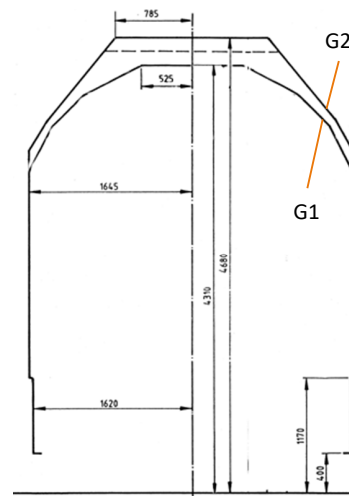
## Bezugslinien aus der EBO: „G1“ und „G2“

### „G1“

- Entspricht Bezugslinie aus UIC 505-1
- International freizügiger Verkehr (kleinster gemeinsamer Nenner, ähnlich nationalem Profil Frankreich oder Italien)

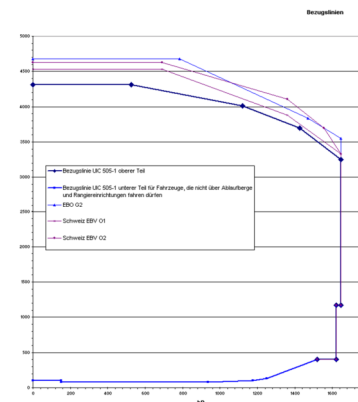
### „G2“

- Kann für Fahrzeuge des nationalen Verkehrs angewendet werden
- Auch vorhanden in einzelnen weiteren europ. Bahnverwaltungen, z.B. ÖBB

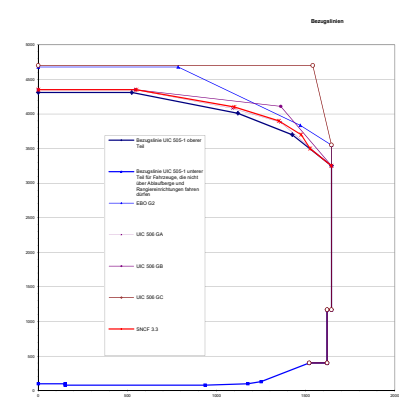


# 4.7 Fahrzeugbegrenzung Vergleich verschiedener Bezugslinien

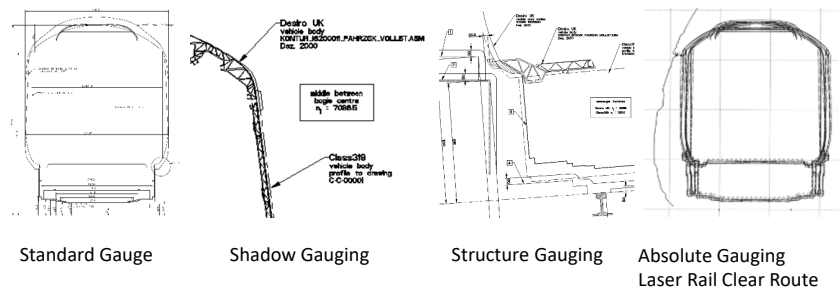
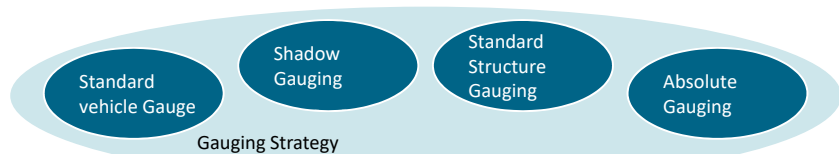
UIC und Schweiz



UIC 505-1, UIC GA, GB, GC, SNCF 3.3



## 4.7 Fahrzeugbegrenzung Hüllraum nach Rail Group Standard



## 4.7 Fahrzeugbegrenzung Bahnsteig – Trittstufe

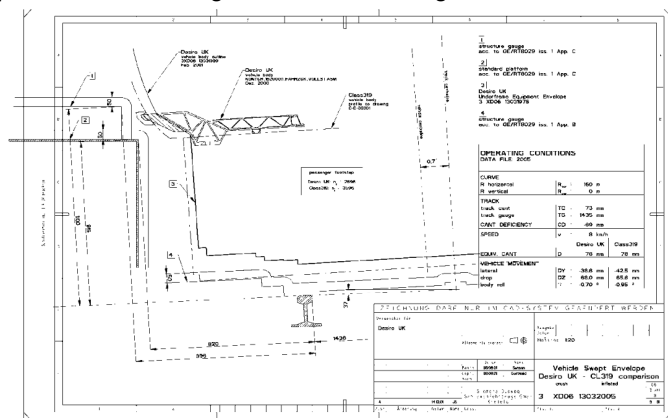
Abstände ergeben sich aus Anforderungen zur Fahrzeugbegrenzung



“Mind the gap” bekannter Warnhinweis im englischen Schienenverkehr

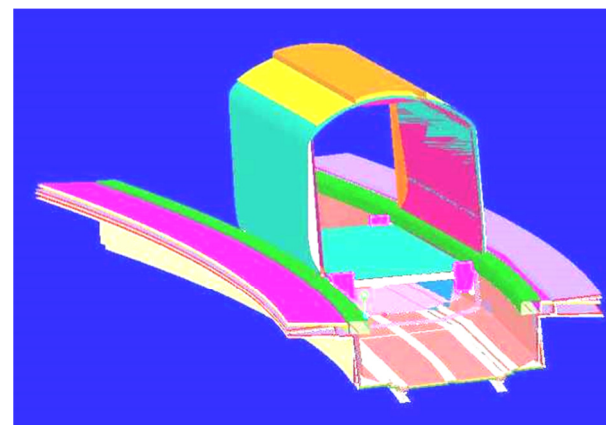
## 4.7 Fahrzeugbegrenzung Bahnsteig – Trittstufe

- Bahnsteig darf nicht berührt werden
- Spalt zwischen Bahnsteig und Tritt darf nicht zu groß sein



## 4.7 Fahrzeugbegrenzung Bahnsteig – Trittstufe

Kollisionsprüfung bei Kurvenfahrt und vorhandenem Bahnsteig

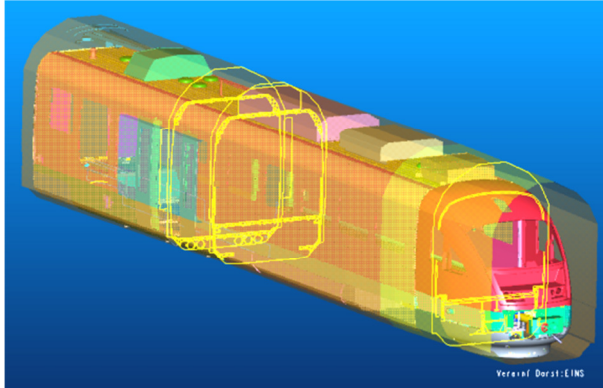


## 4.7 Fahrzeugbegrenzung Hüllraumermittlung im 3D-CAD

Darstellung Hüllraum-Fahrzeugbegrenzung

Hüllraumermittlung im 3D-CAD

- Bogenausschlag
- Federbewegungen, Wanken
- Toleranzen



## Gliederung

Fahrtechnik

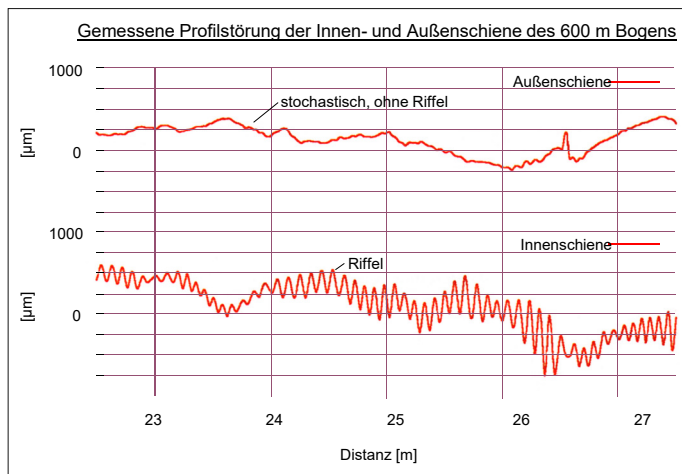
- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

Messtechnik

## 4.8 Messtechnik Gemessene Profilstörung der Schiene



Quelle: Klaus Hempelmann,  
Arnold Groß-Theibing, Hans  
Zimmer Analyse der Fahrzeuge/  
Fahrweg-Interaktion zur Ableitung  
von Maßnahmen mit dem  
Simulationswerkzeug SFE  
AKUSRAIL, Der Eisenbahn  
Ingenieur, Februar 2001, 2

## 4.8 Messtechnik Gleismessverfahren

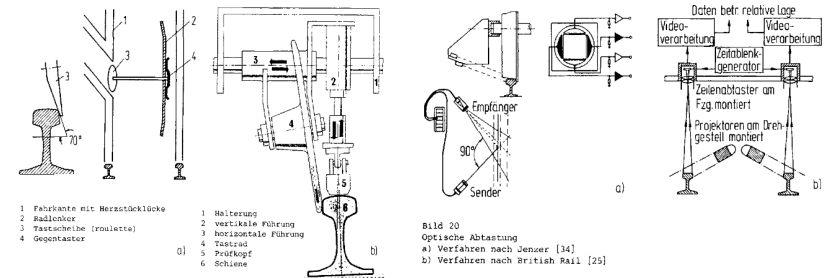


Bild 19  
Tastschleiben zur Erfassung des horizontalen Schienenverlaufs  
a) Fahrkantenabtastung (Gleismesswagen DB) [17]  
b) Innenflächenabtastung (Ultraschallprüfwagen INCF) [13]

Mechanisches  
Abtastverfahren

Optisches Verfahren

Quelle: Frederich, Hecht  
Erfassung der Gleislage auf ÖPNV- Strecken  
VDI Verlag, Fortschrittberichte Nr. 64, Reihe 12

## 4.8 Messtechnik Gleismessverfahren

### Dynamisches Beschleunigungsverfahren

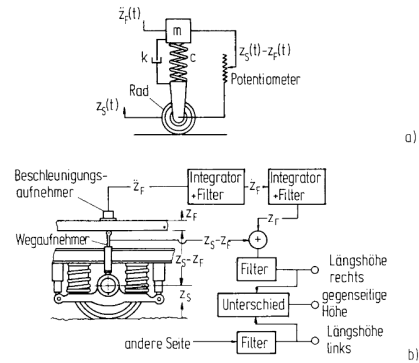


Bild 17  
Gleislagemessung mit dem Beschleunigungsverfahren  
a) nach Nair [19] und  
b) British Rail [25,27]

Quelle: Frederich, Hecht  
Erfassung der Gleislage  
auf ÖPNV-Strecken VDI  
Verlag, Fortschrittberichte  
Nr. 64, Reihe 12

### Magnetisches Abtastverfahren

Beispiel für ein Messgerät mit Magnetsensor mittels  
magnetischem Wechselfeld  
Messlänge 1 m Fahrfläche und Fahrkante



Quelle: Wegner, Damm  
Digitale Abnahme von Schienenlängsprofilen  
ZEV-Rail, 6-7 2015, S 252 ff

## 4.8 Messtechnik Gleismessverfahren

### Absolute geodätische Gleismessverfahren

#### Bezugslinie absolut (Laser)

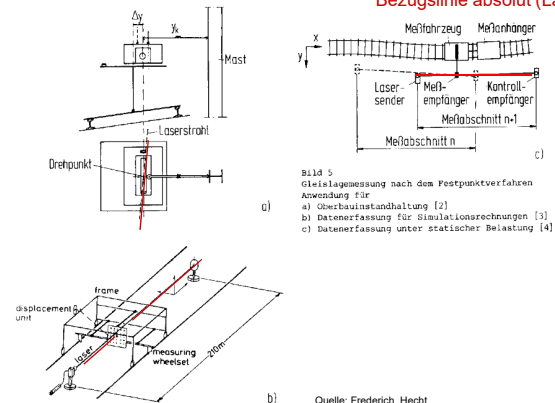
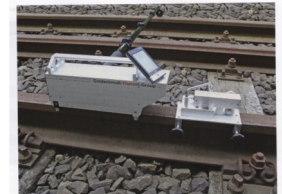


Bild 5  
Gleislagemessung nach dem Postpunktverfahren  
Anwendung für  
a) Oberbauinstandhaltung [2]  
b) Datenerfassung für Simulationsrechnungen [3]  
c) Datenerfassung unter statischer Belastung [4]

Quelle: Frederich, Hecht  
Erfassung der Gleislage auf ÖPNV-Strecken  
VDI Verlag, Fortschrittberichte Nr. 64, Reihe 12

Beispiel für ein Lasermessgerät mit Lasereinheit  
und verschieblicher Detektoreinheit  
Messlänge max 50 m.

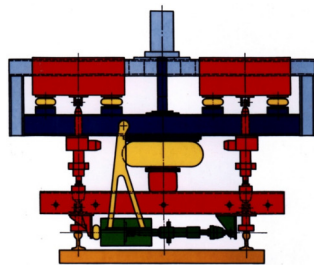


Quelle: Wegner, Damm  
Digitale Abnahme von Schienenlängsprofilen  
ZEV-Rail, 6-7 2015, S 252 ff

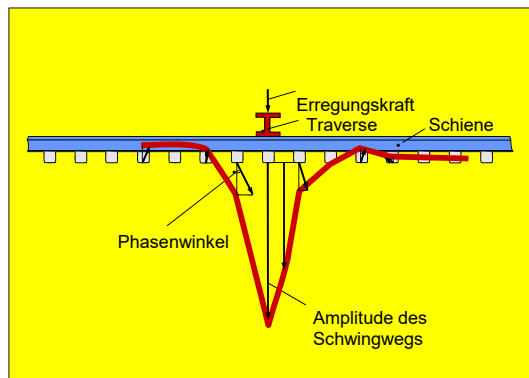
## 4.8 Messtechnik Gleismessverfahren

Belastungs- und Anregungs-  
vorrichtung Gleiselastizität

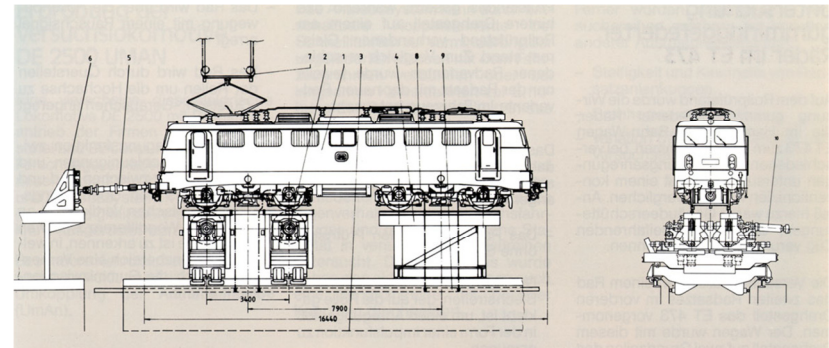
Dynamische Fahrbahnparameter,  
Schwingform in Gleislängsrichtung



- Rahmen des Meßwagens
- arretierbarer Querträger
- vertikale Erregung
- horizontale Erregung
- Komponenten zur dynamischen Entkopplung



## 4.8 Messtechnik Rollprüfstand



Der Rollprüfstand in München Freimann:  
1977 – erste Ausbaustufe  
1994 – grundlegende Modernisierung  
2003 – Stilllegung  
Heute gibt es Rollprüfstände für Einzelachsen (z.B. DB Kirchmöser, IFS RWTH)

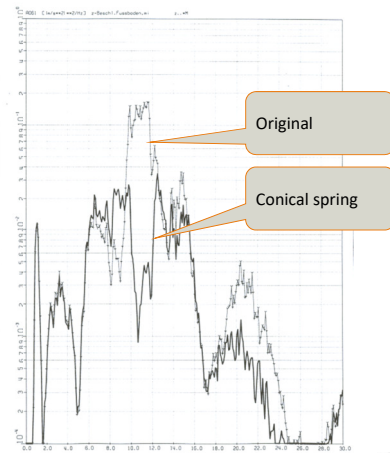
Quelle: Broschüre der DB und IABG zum  
Rollprüfstand „Dynamischer  
Fahrzeugsimulator für Schienen-  
fahrzeuge“

# 4.8 Messtechnik Schwingungsmessung

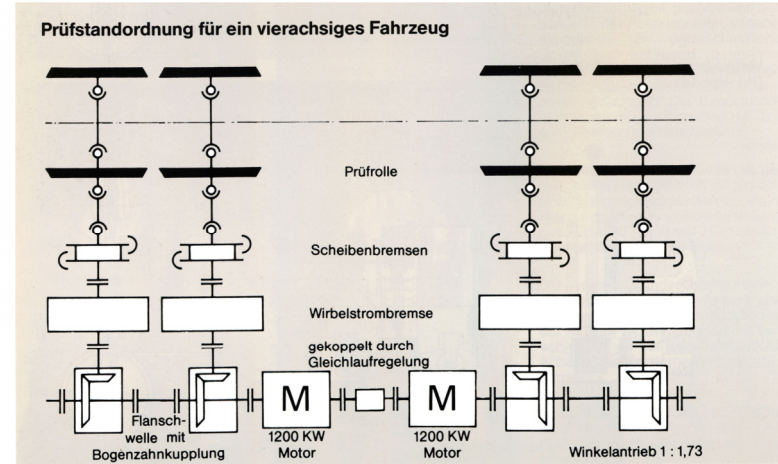
ICE auf dem Rollprüfstand



Messung Rollprüfstand

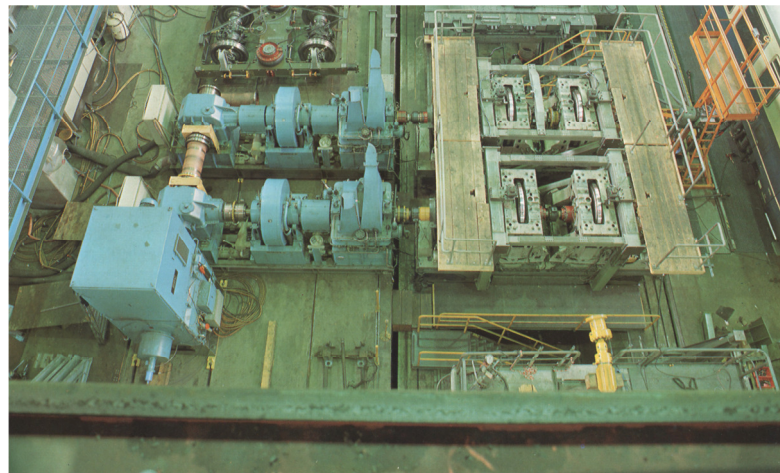


# 4.8 Messtechnik Rollprüfstand



Quelle: Broschüre der DB und IABG zum Rollprüfstand „Dynamischer Fahrzeugsimulator für Schienenfahrzeuge“

# 4.8 Messtechnik Rollprüfstand



Quelle: Broschüre der DB und IABG zum Rollprüfstand „Dynamischer Fahrzeugsimulator für Schienenfahrzeuge“

# 4.8 Messtechnik Rollprüfstand

	<b>Ideales, gerades Gleis</b>		<b>Richtungsfehler waagrecht quer</b>
	Achsabstand variabel		Bewegen der Rollen um die Hochachse
	<b>Spurspiel Variation</b>		<b>Gleisbogen</b>
	1435 mm – 1700 mm		Schwenken der Rollen um die Hochachse
	<b>Höhenfehler</b>		<b>Gleisüberhöhung Simulation Querkraft</b>
	Bewegen der Prüfrollen vertikal		Kippen der Grundzelle
	<b>Verwundene oder geneigte Schiene</b>		Schwenken der Rollen um die x-Achse

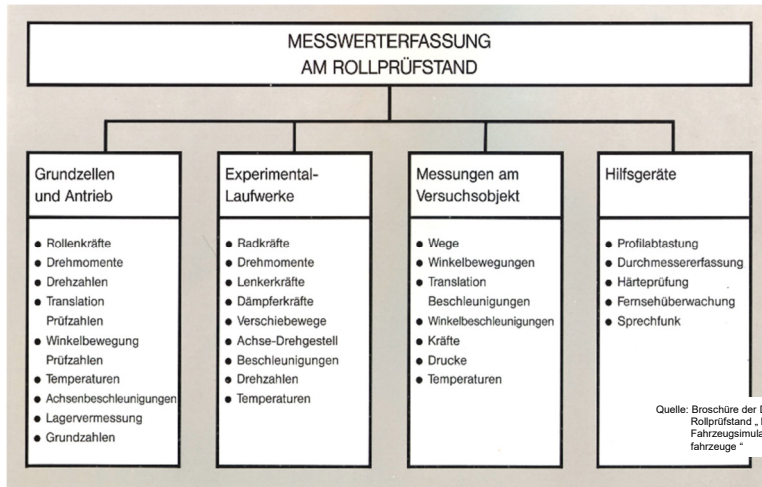
Die Bewegungsmöglichkeiten der Rolleneinheiten

Möglichkeiten der Simulation von Gleislageparametern

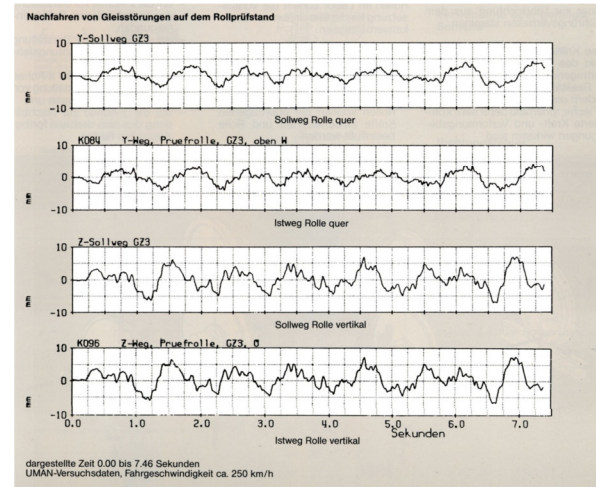
Quelle: Broschüre der DB und IABG zum Rollprüfstand „Dynamischer Fahrzeugsimulator für Schienenfahrzeuge“



## 4.8 Messtechnik Rollprüfstand

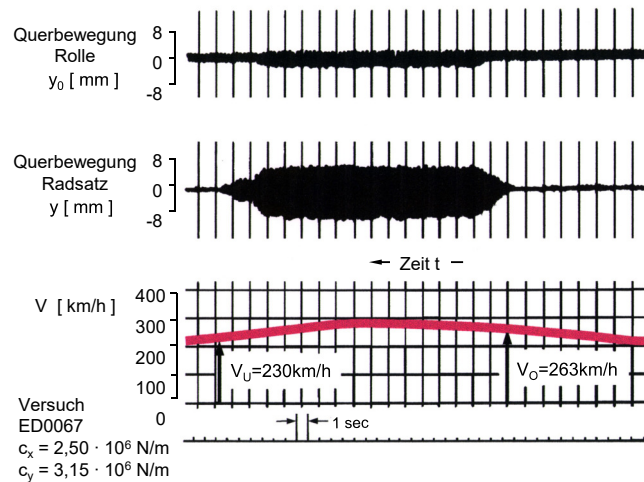


## 4.8 Messtechnik Rollprüfstand

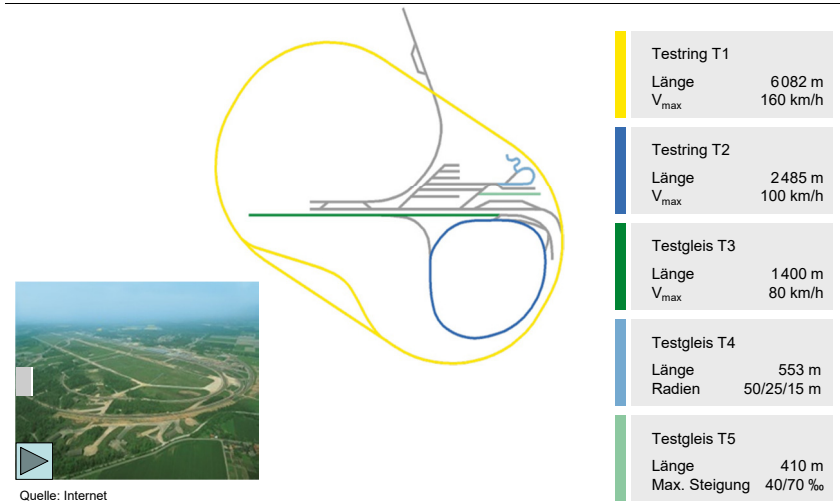


## 4.8 Messtechnik Rollprüfstand - Hochgeschwindigkeitsversuch

### Einzelrad



## 4.8 Messtechnik Prüfcenter Wildenrath



## 4.8 Messtechnik Prüfcenter Wildenrath



- Messgleisbogen für die Entgleisungssicherheit

Bestimmung von:

- UIC: Wankpol, Neigungskoeffizient
- UK: Querbewegungen an kritischen Punkten des Kastens

Quelle: Siemens

## 4.8 Messtechnik Prüfcenter Wildenrath



Quelle: Siemens

## 4.8 Messtechnik Messfahrten auf der Kundenstrecke

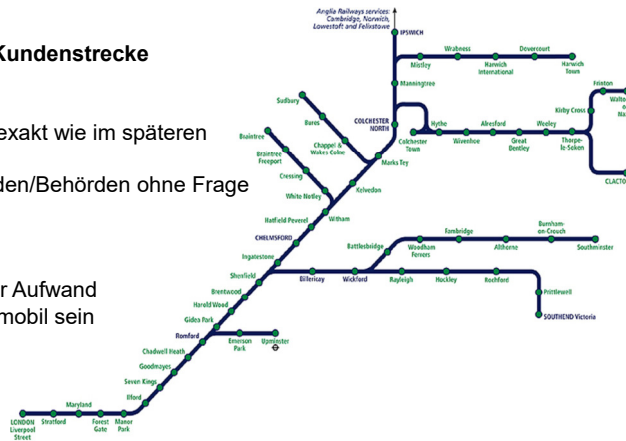
### Messfahrten auf der Kundenstrecke

Vorteile:

- Randbedingungen exakt wie im späteren Betrieb
- Akzeptanz bei Kunden/Behörden ohne Frage gegeben

Nachteile:

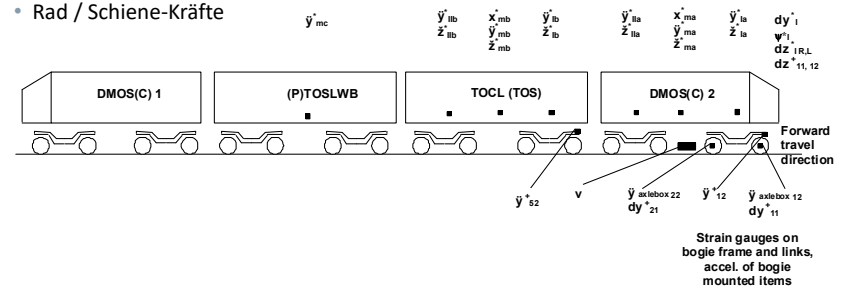
- sehr hoher zeitlicher Aufwand
- Messtechnik muss mobil sein



## 4.8 Messtechnik Instrumentierung

Beispielhafte Anordnung der Messinstrumente für fahrtechnische Messungen

- Beschleunigungen
- Federwege
- Rad / Schiene-Kräfte



## 4.8 Messtechnik Fahrzeugmessung

### Fahrtechnik/Zulassungsmessungen

#### Messvorschriften:

- Fahrsicherheit (UIC 518 oder länderspezifisch)
- Fahrkomfort (UIC 513 oder kundespezifisch)

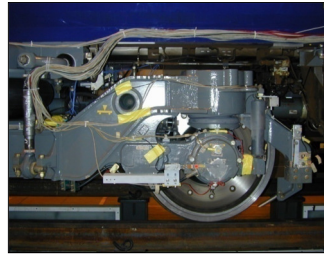
#### Messgrößen:

- Rad/Schiene Kräfte
- Beschleunigungen
- Wege
- Fahrgeschwindigkeit

Instrumentierung: Messradsatz



Instrumentierung: Beschleunigungssensoren



Quelle: Siemens

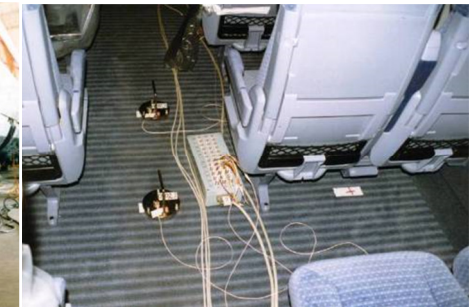
## 4.8 Messtechnik Verifizierung der Modelle durch Modalversuch

Hydraulischer Heber an Anhebestelle  
eines ICE 2-Wagenkastens



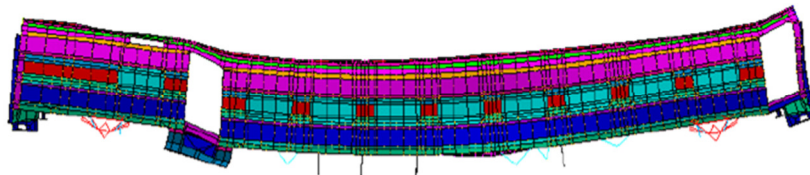
Quelle: Siemens

Messwertaufnehmer im  
Fahrzeuginnenraum

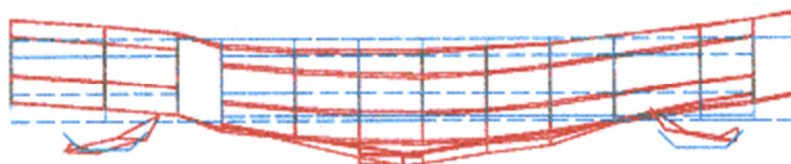


## 4.8 Messtechnik Verifizierung der Modelle durch Modalversuch

### Vertikale Biegung



Berechnung mit Ansys:  $f = 10.75 \text{ Hz}$



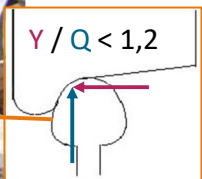
Modalversuch:  $f = 11.75 \text{ Hz}$

Quelle: Siemens

## 4.8 Messtechnik Instrumentierung des Messradsatzes



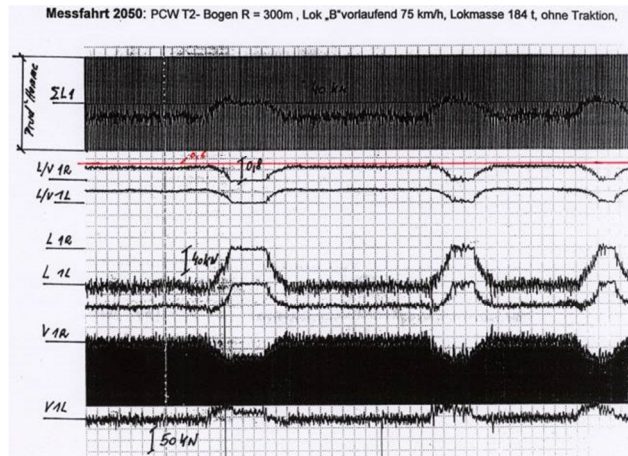
Quelle: Siemens



## 4.8 Messtechnik

### Fahrtechnische Messung

#### Messergebnisse



## Zusammenfassung

### Fahrtechnik

- Einführung
- Geradeauslauf
- Auslegungsrechnung
- Seitenwindwirkung

### Systemkinematik

- Bogenlauf
- Grundbegriffe
- Fahrzeugbegrenzung

### Messtechnik

## Überblick

- I. Einführung
- II. Zugförderung
- III. Wagenkasten
- IV. Fahrtechnik / Systemkinematik
- V. Komfort
- VI. Antrieb
- VII. Bremse

## Grundlagen der Schienenfahrzeugtechnik



Quelle: Siemens