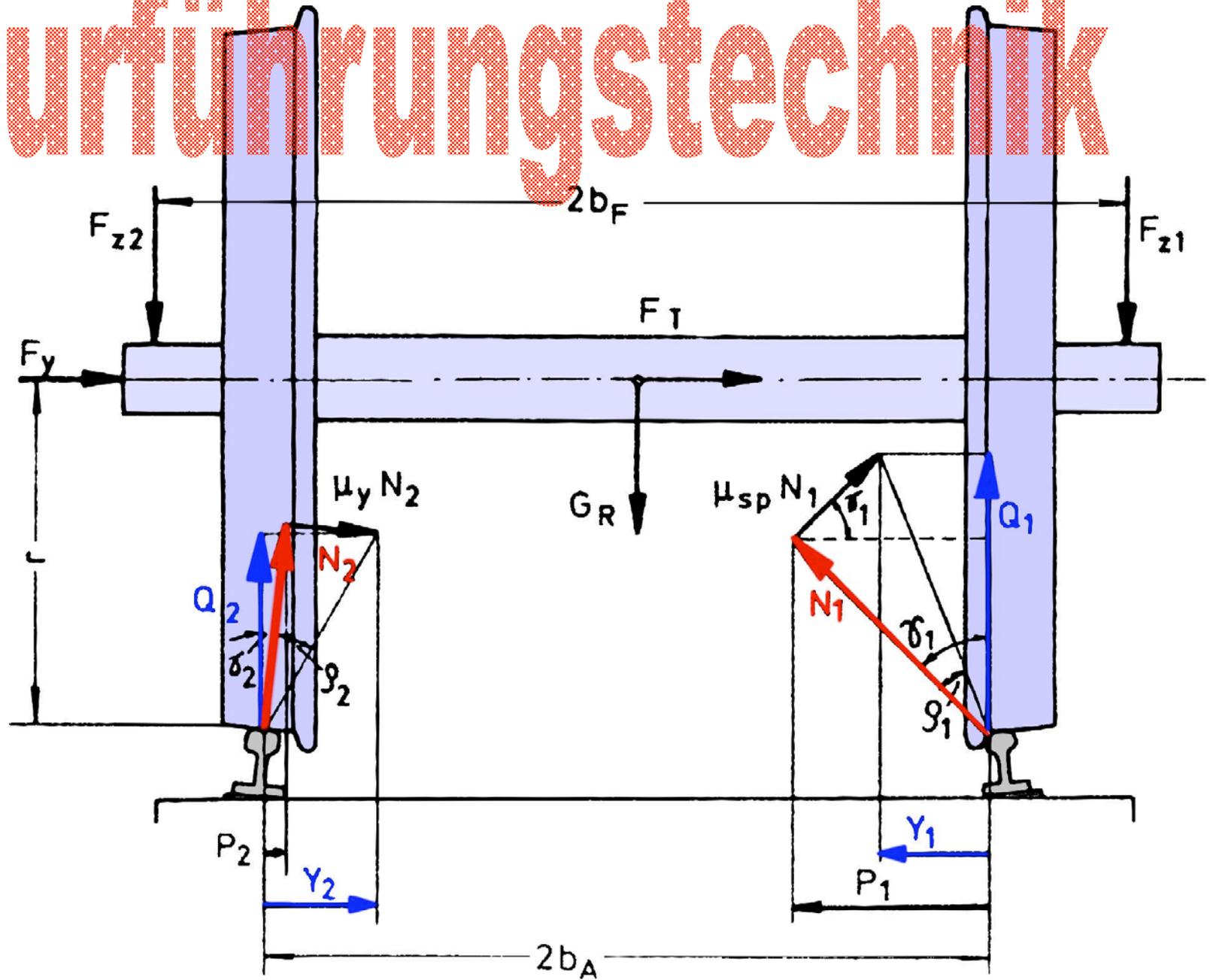


Spurführungstechnik



Statik:

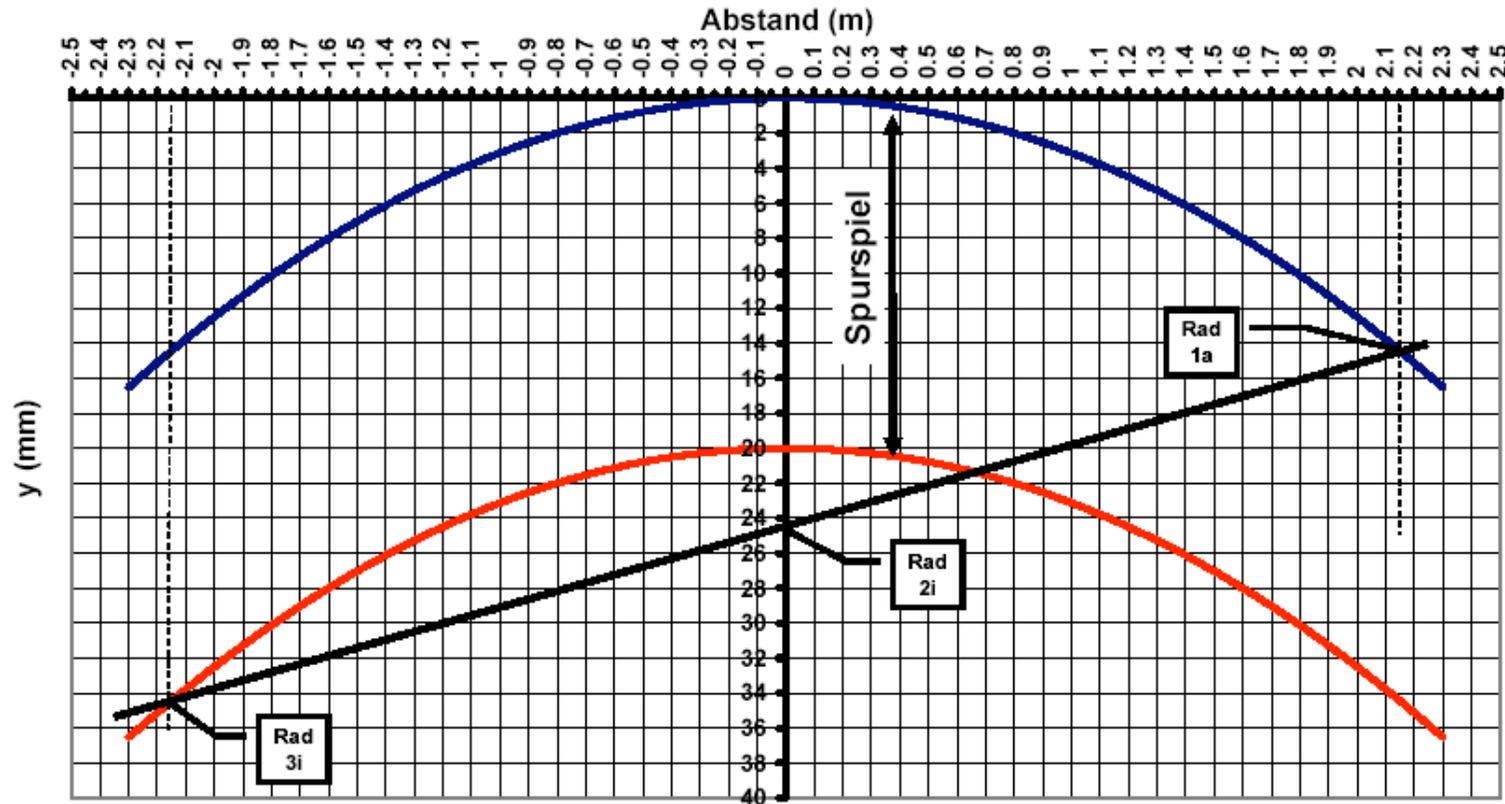
Die Statik ist ein Teilgebiet der Mechanik und beschreibt das mechanische Verhalten von Körpern unter Einwirkung von Kräften und Drehmomenten, ohne dass es zu einer Änderung der Bewegungsgrößen, Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung unter der Einwirkung von Kräften im Raum kommt. Die Elemente (Körper) befinden sich in Ruhe und die Gleichgewichtsbedingungen für Kräfte und Momente sind erfüllt.

Quasistatik:

Der Begriff quasi (= gleichsam, gewissermaßen, sozusagen) wurde im 18-ten Jahrhundert aus dem lateinischen Adverb quasi „wie wenn, gerade als ob“ übernommen. Unter „Quasistatik“ versteht man die Betrachtung der Kräfte und Gleichgewichtsbedingungen bei einer konstanten Bewegungsgröße, ohne dass es zu einer Änderung der Geschwindigkeit kommt. Die dynamischen Kräfte werden durch Filter bzw. Mittelungsverfahren auf eine quasistatische Modellvorstellung mit „sozusagen“ konstanter Kraft reduziert.

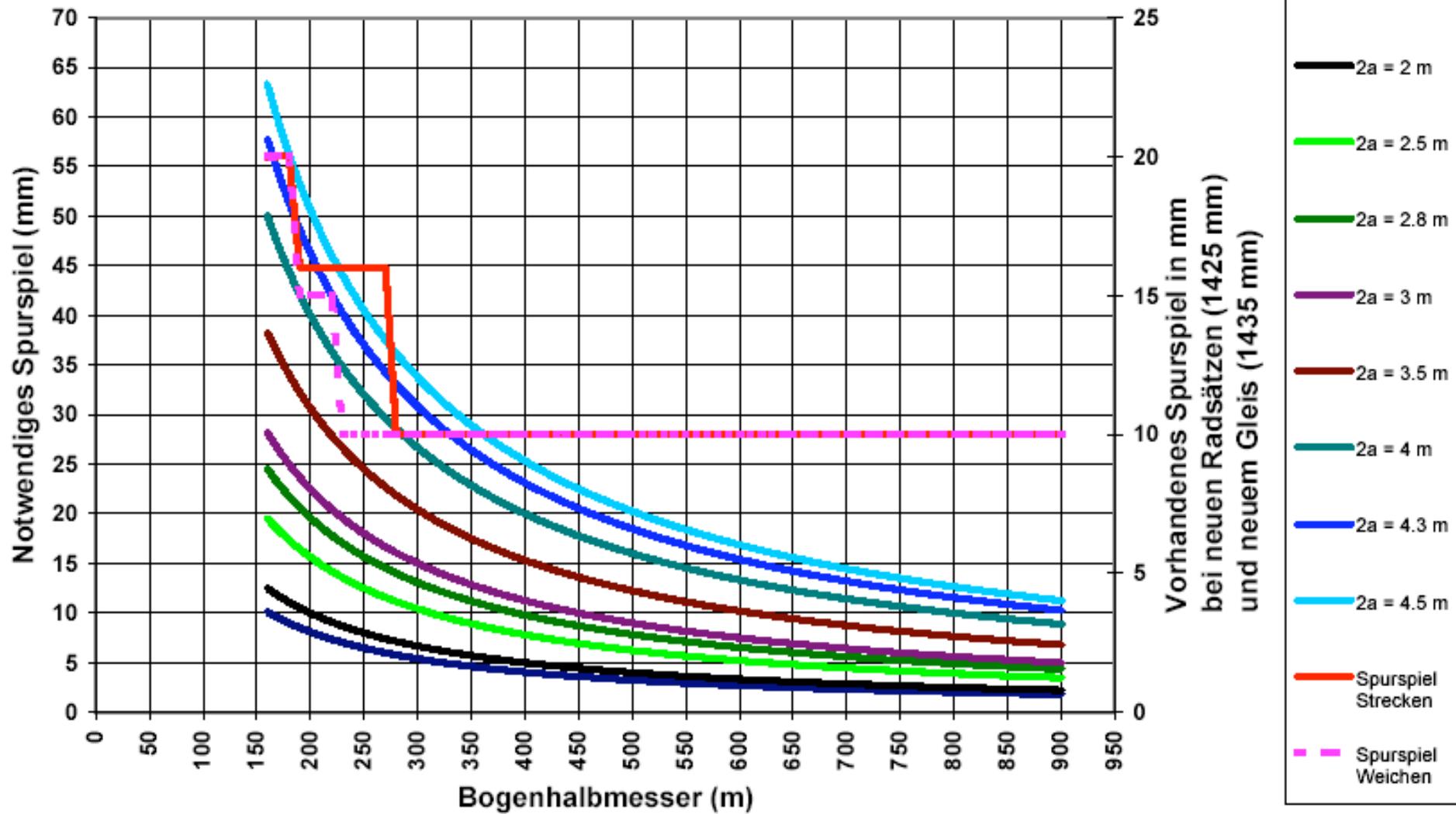
Stellungsbild des Fahrzeugs im Spurkanal

Vogelplan für die Co Co Lok Ae 6/6 in einem Bogen, Halbmesser 160 m
Radstand 4.3, Abstand zur Mittelachse 2.15 m

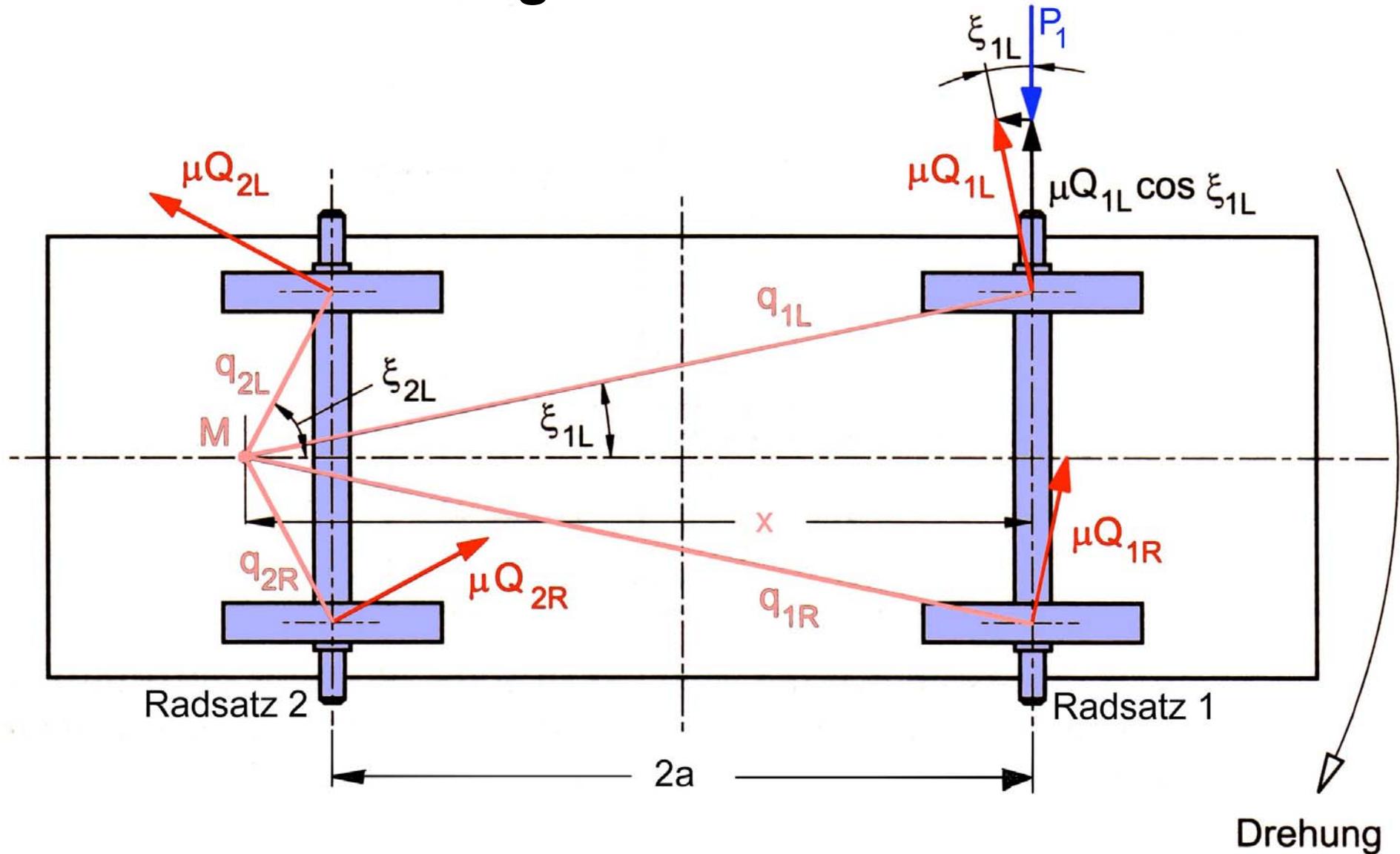


- Antworten auf:
- geometrische Gestaltung des Spurkanals (z. B. Spurerweiterung)
 - konstruktive Gestaltung der Fahrzeuge (z. B. Spurkranzschwächung bzw. Querverschiebbarkeit von Mittenradsätzen)

Notwendiges Spurspiel für den Übergang vom Spiessgang in den Freilauf in Abhängigkeit des Radsatzstandes

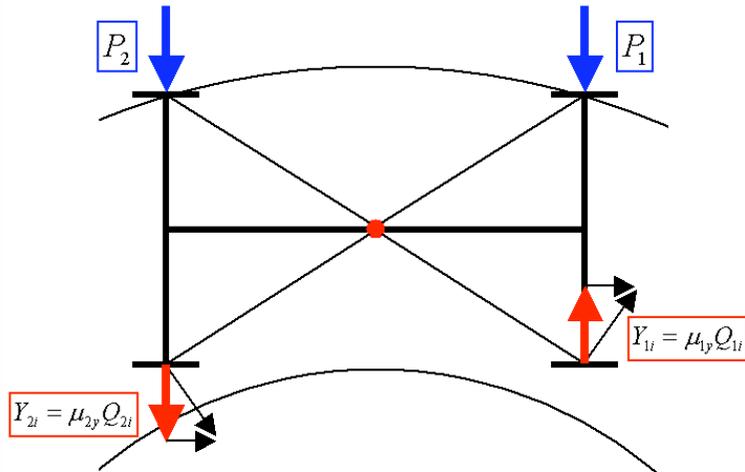


Vereinfachte Darstellung der Reibkräfte nach Heumann bei Bogenfahrt im Freilauf

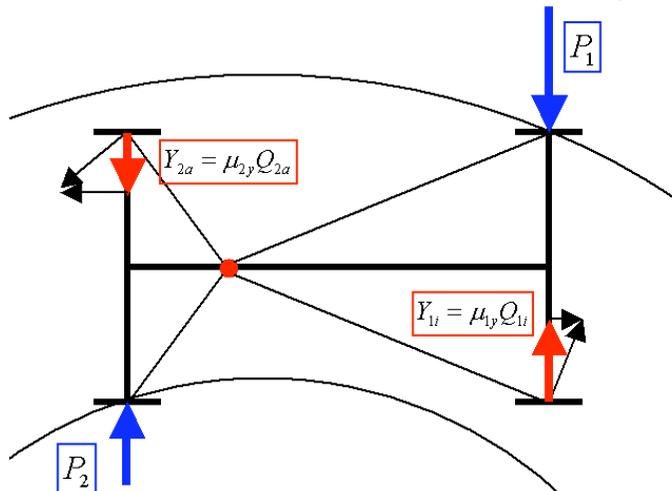


Grundsätzlich mögliche Stellungen im Spurkanal

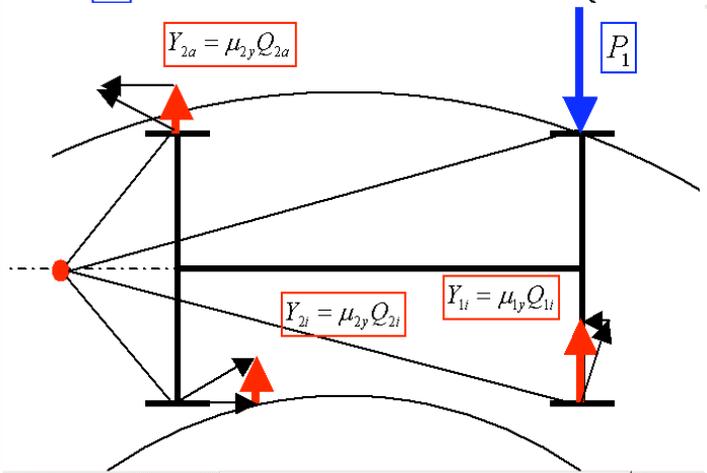
Sehnenstellung



Spiessgangstellung



Freilaufstellung

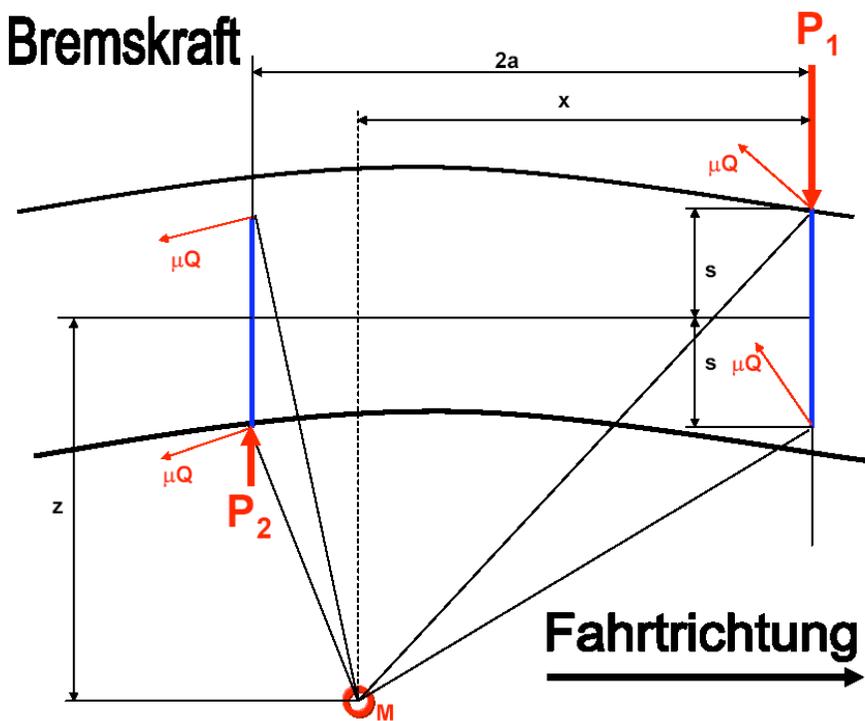
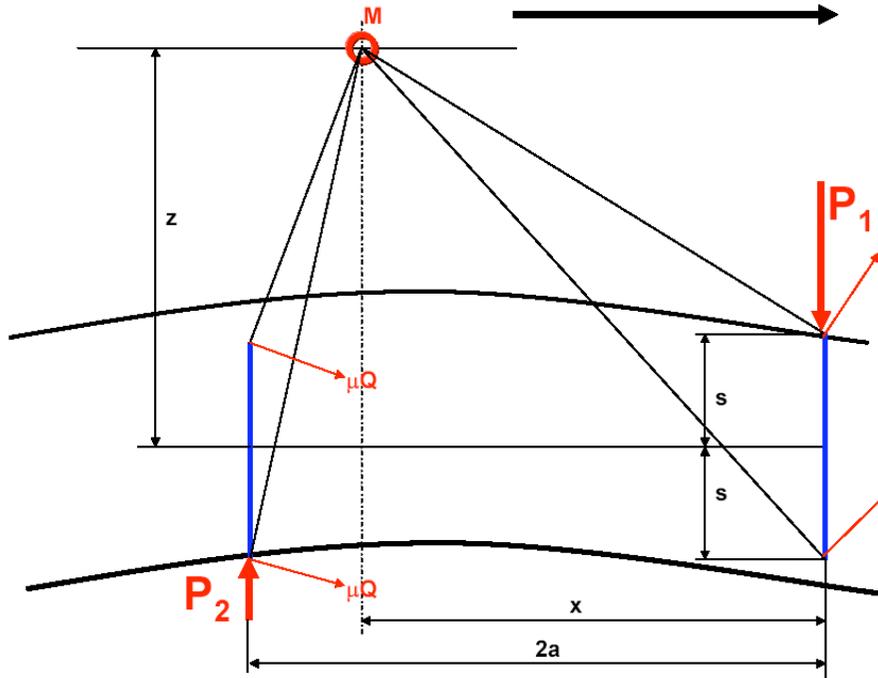


Einfluss der Zug- und Bremskräfte auf die Reibkräfte

Mit Zugkraft

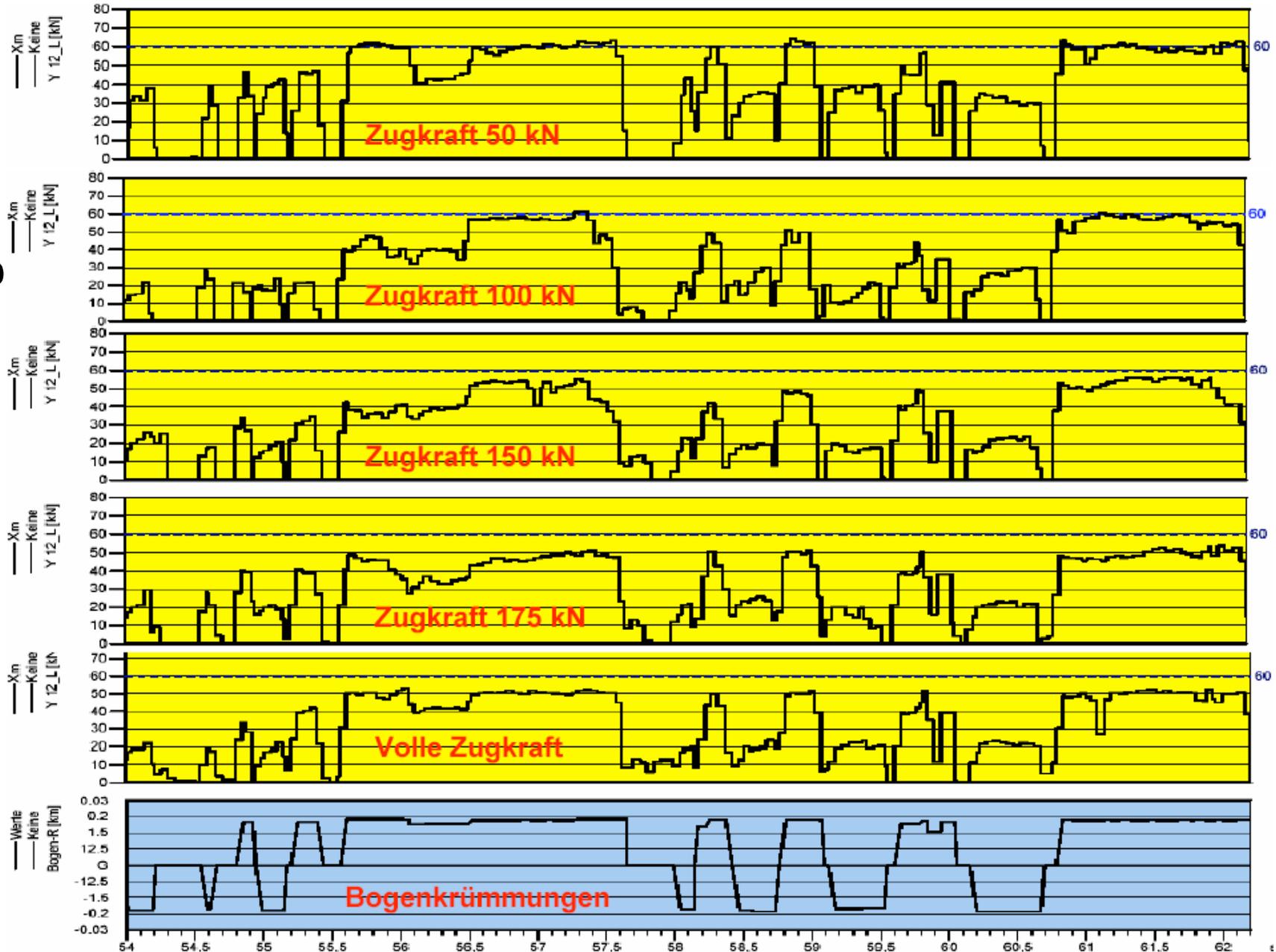
Fahrtrichtung

Mit Bremskraft

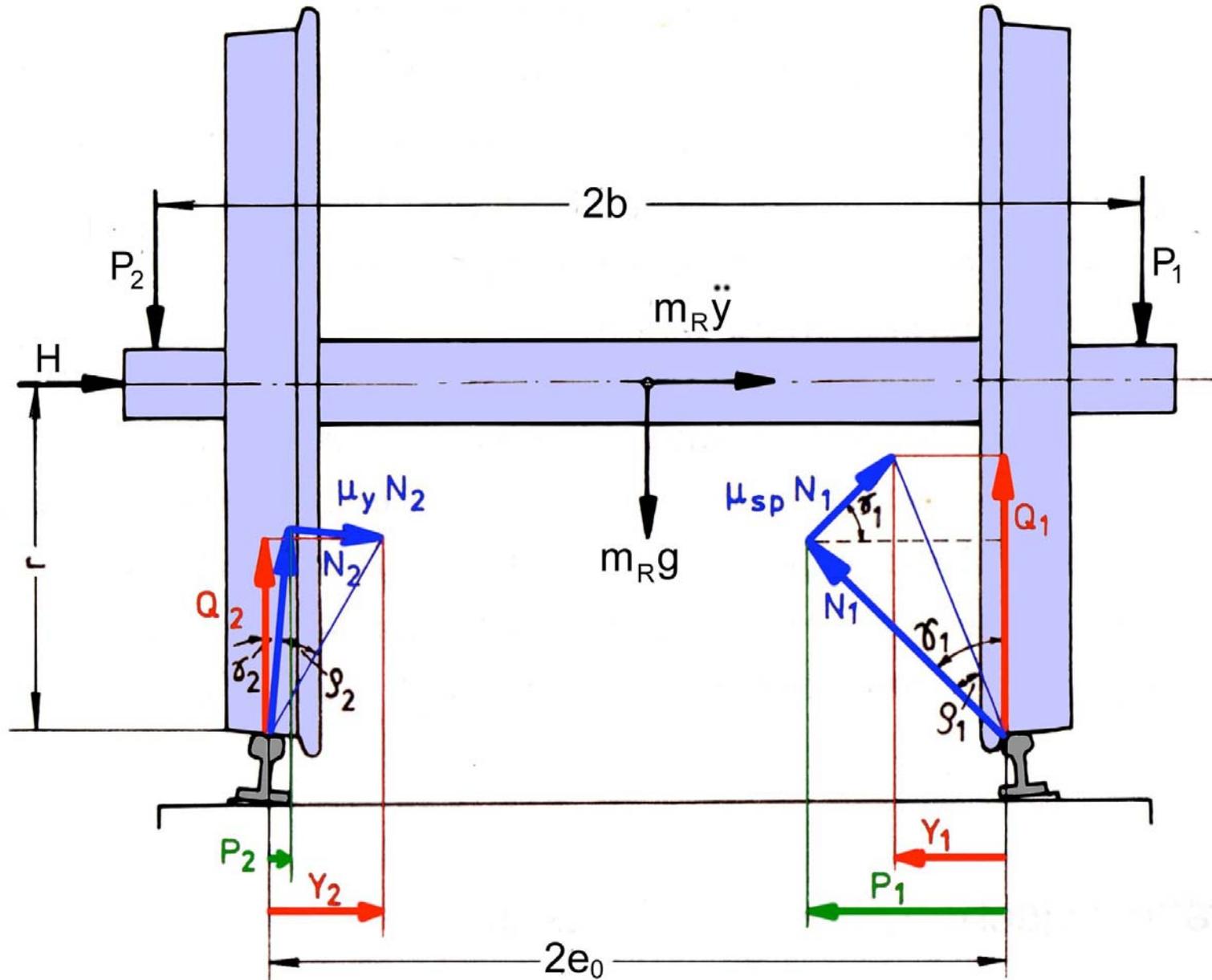


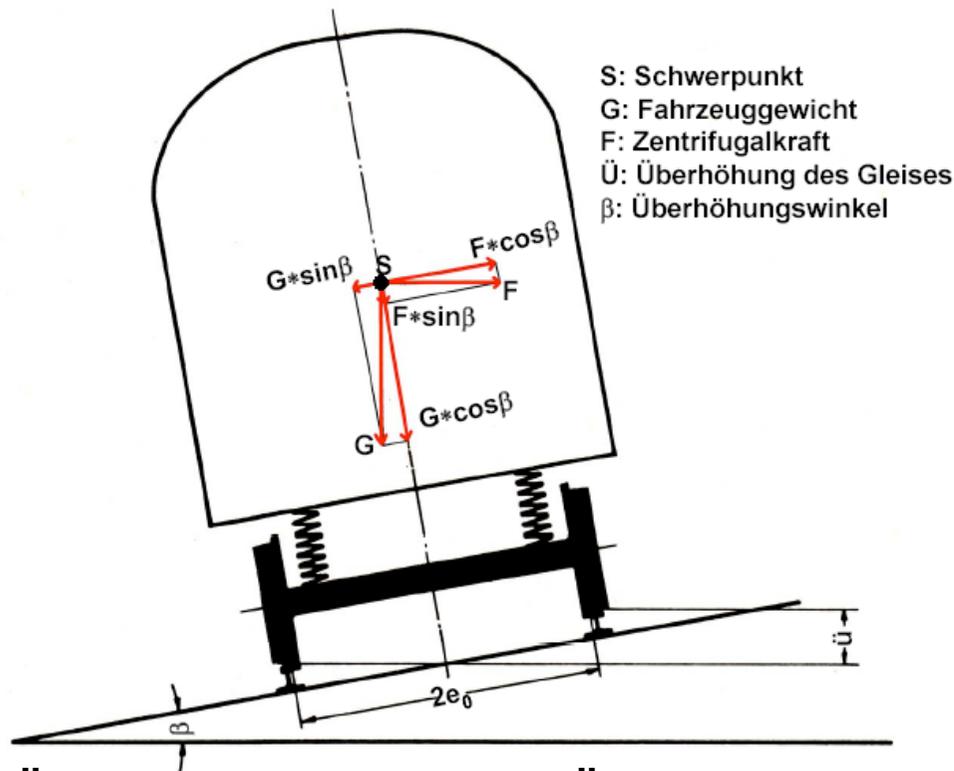
Praktisches Beispiel: Reduktion der Führungskräfte mit zunehmender Zugkraft

Quasistatische Führungskräfte Y1a



Rad-Schienen-Kräfte





Massenkräfte bei Fahrt im Bogen

Überhöhungsfehlbetrag \ddot{U}_f , unausgeglichene Querbeschleunigung auf Gleisebene b_g

$$\ddot{U}_f = 153 \frac{V^2}{R} - \ddot{U} \quad [mm]; \quad b_g = \frac{V^2}{R} - \frac{\ddot{U}g}{2e_0} \quad [m/s^2]$$

Änderung Radaufstandskraft im Bogen

$$\Delta Q = \pm h(F \cos \beta - G \sin \beta) = \pm mh \left(\frac{V^2}{R} \cos \beta - g \sin \beta \right)$$

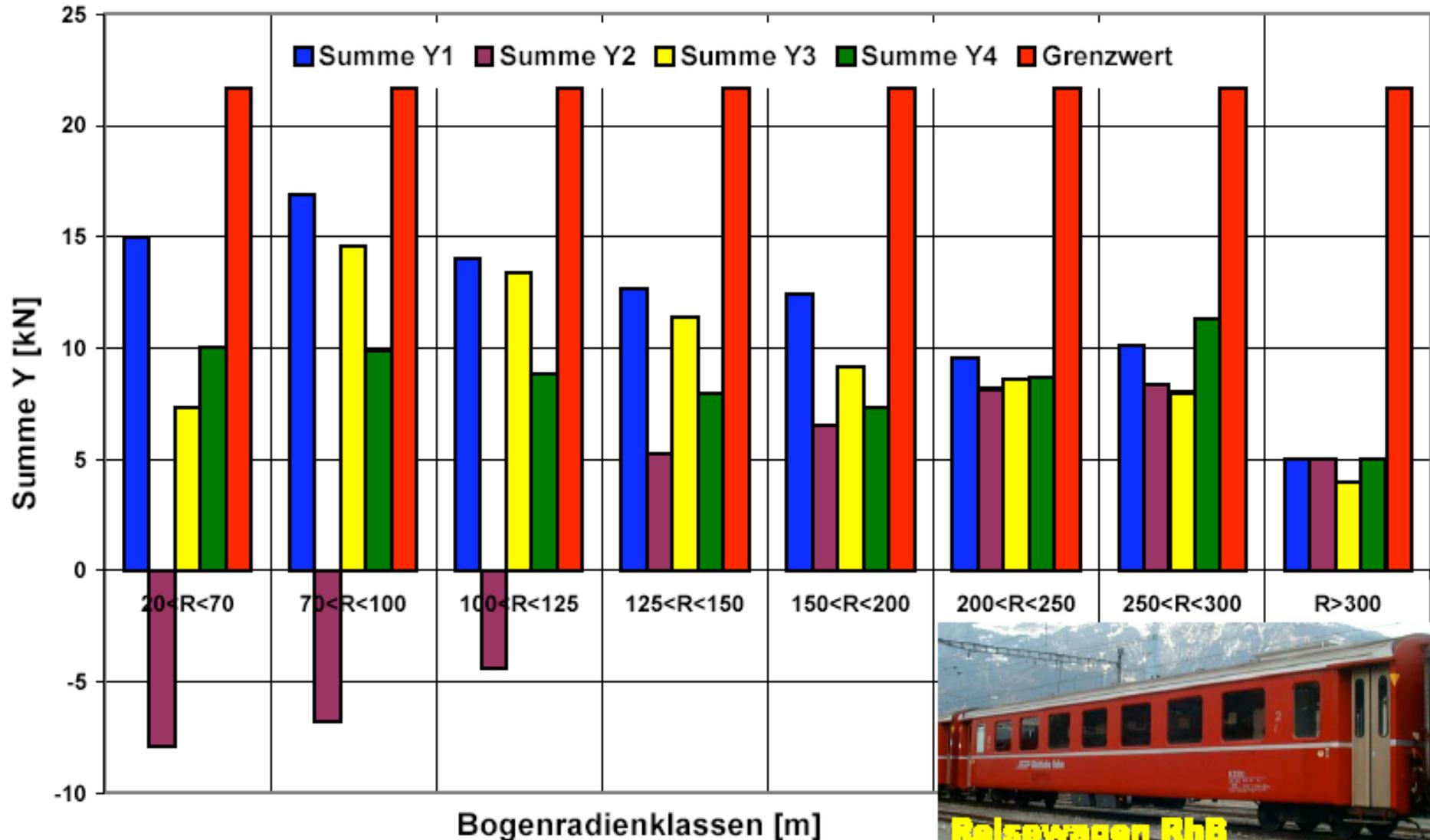
Quasistatische Radaufstandskraft

$$Q_{\text{quasistatisch}} = Q_0 + \Delta Q$$

- b_g : Unausgeglichene Querbeschleunigung auf Gleisebene
- e_0 : Abstand zwischen den Messkreisebenen der beiden Räder
- h : Lage Fahrzeugschwerpunkt über Schienenoberkante (SOK)
- m : Fahrzeugmasse
- Q : Quasistatische Radaufstandskraft
- Q_0 : Statische Radaufstandskraft
- ΔQ : Änderung Radaufstandskraft infolge Überhöhungsfehlbetrag
- \ddot{U}_f : Überhöhungsfehlbetrag
- V : Fahrgeschwindigkeit
- R : Bogenhalbmesser

Aufteilung der Summe der Führungskräfte im Fahrzeug in Abhängigkeit Bogenhalbmesser

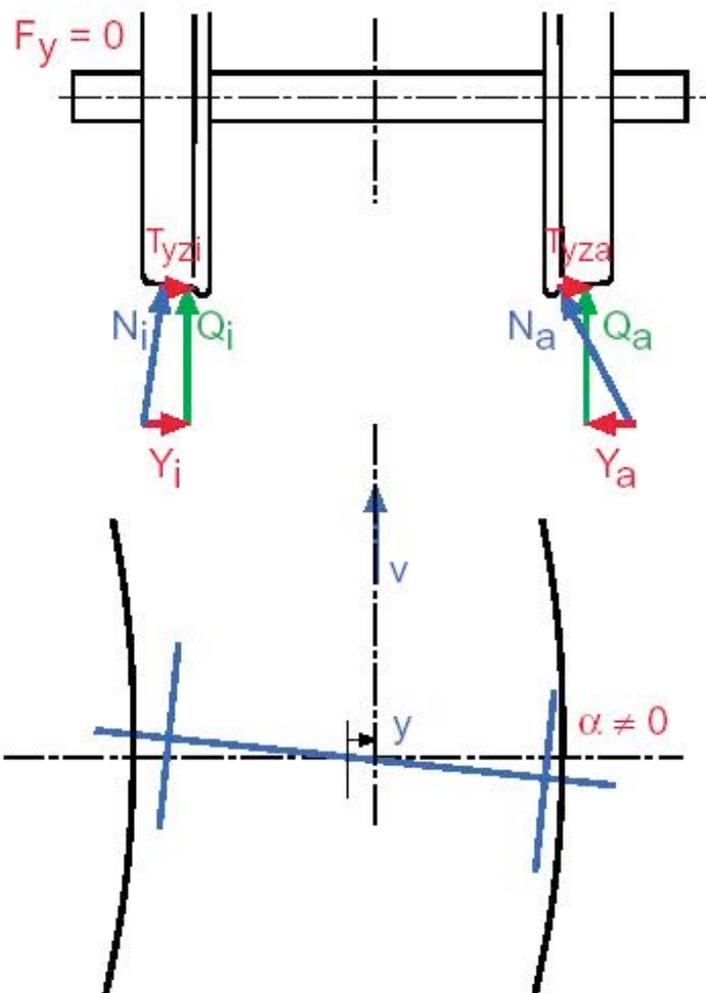
Summe der Führungskräfte EW II beladen 4 Tonnen (Gesamtmasse 19 Tonnen)



Gleichgewichtsbedingungen am frei rollenden Radsatz im Bogen

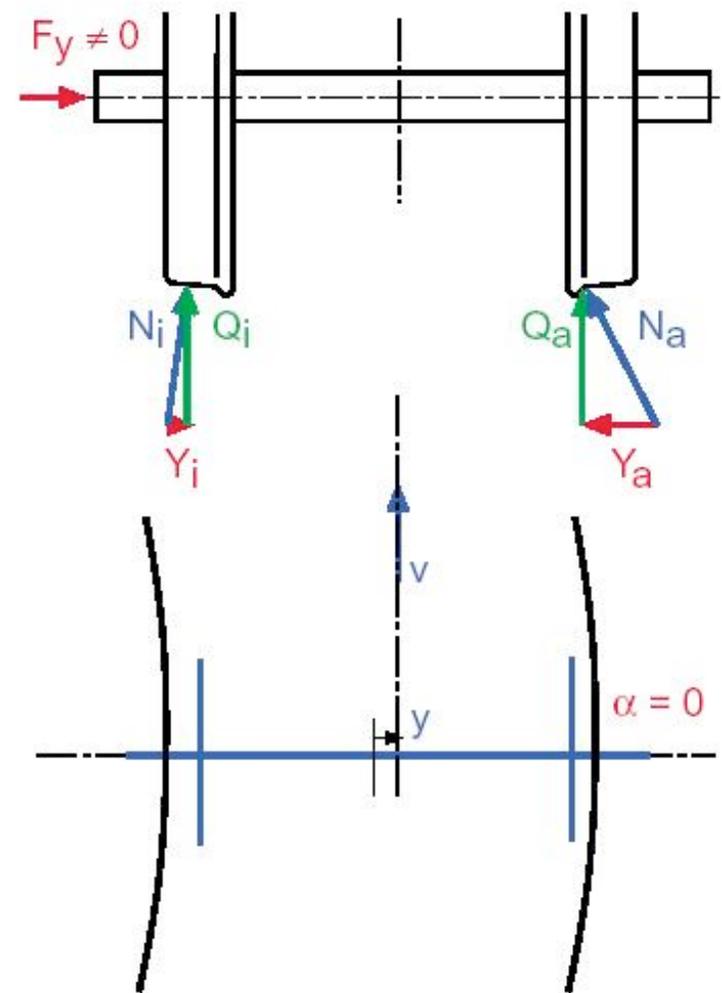
Gleichgewicht durch
Querreibkräfte erfüllt

$F_y = 0$
 $\alpha > 0$
y-Gleichgewicht erfüllt

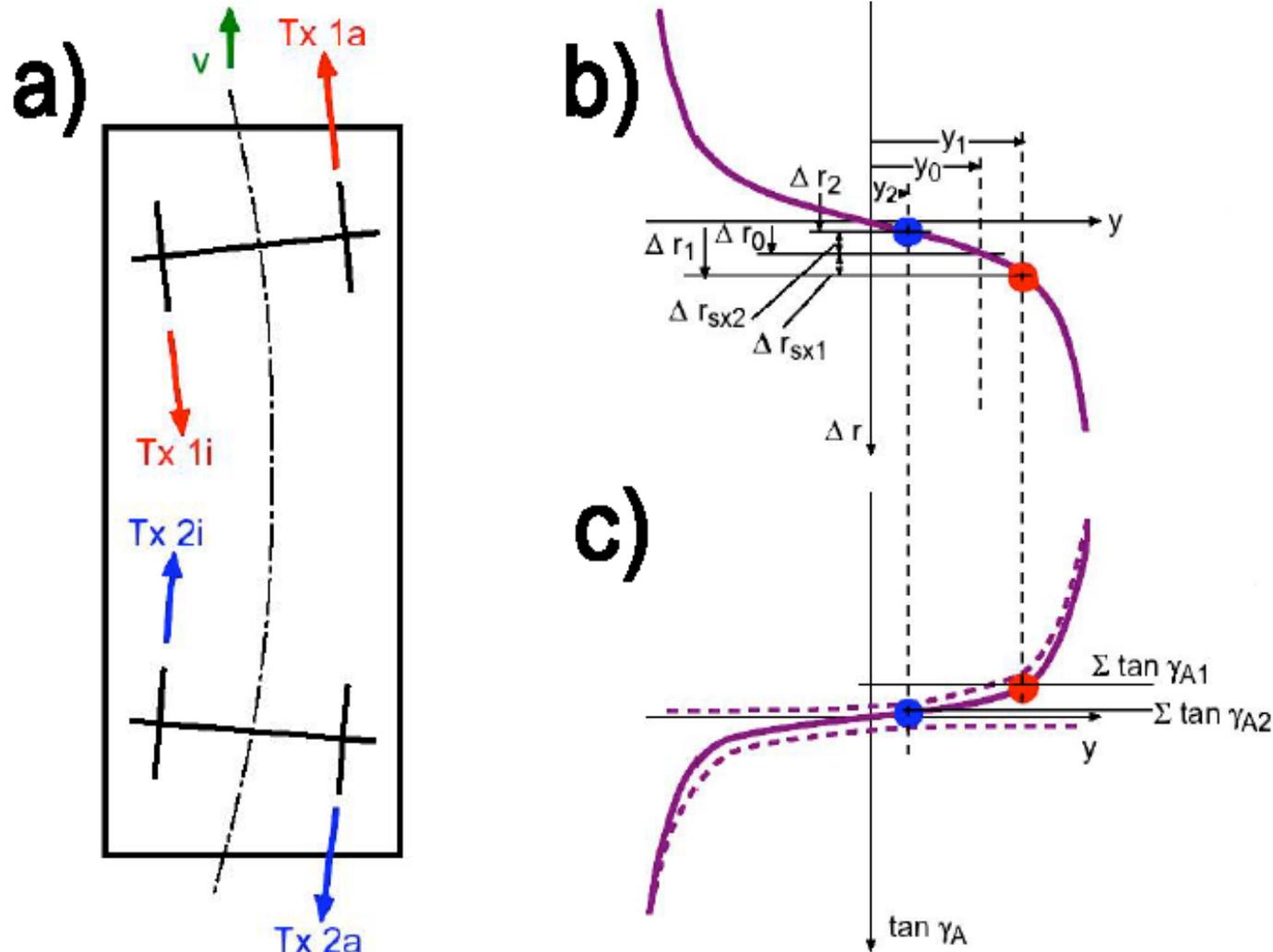


Gleichgewicht durch
Querreibkräfte und Fliehkräfte erfüllt

$F_y > 0$
 $\alpha = 0$
y-Gleichgewicht erfüllt

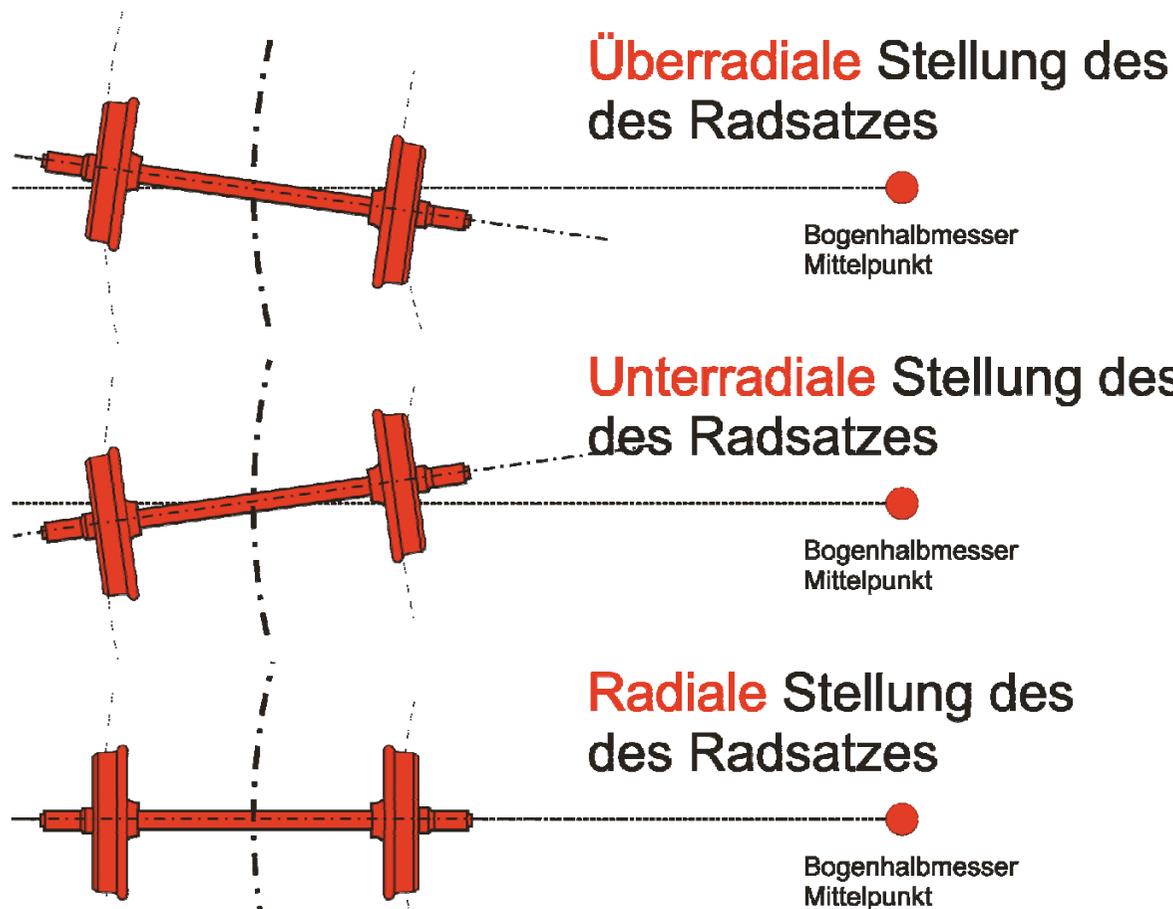


Kontaktgeometrische Voraussetzungen zur Selbststeuerung der Radsätze bei der Fahrt im Bogen



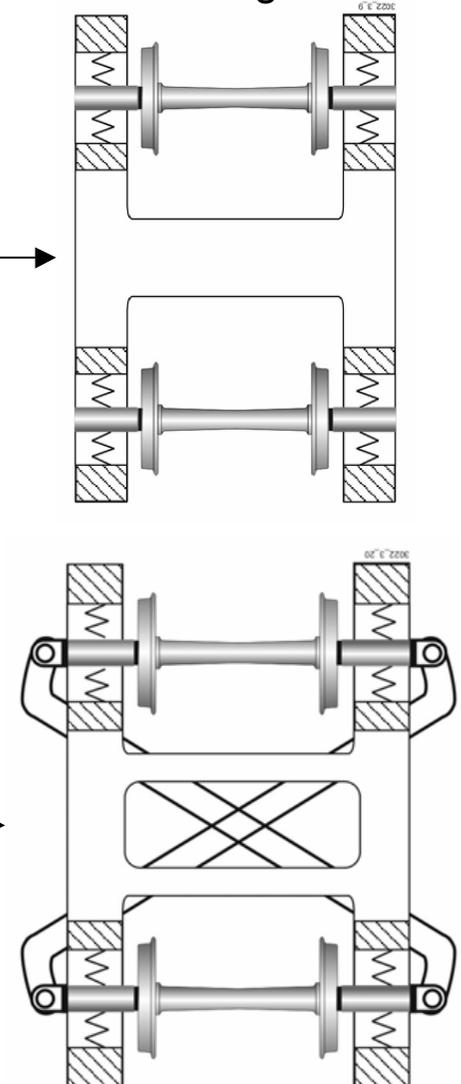
- a) Längsschlupfkkräfte bei der Bogenfahrt
- b) Δr -Funktion mit Vorrat gegenüber der kinematischen Rolllinie zur Erzeugung des Längsschlupfs
- c) Kontaktwinkel und der Verlauf der Funktion als Beurteilungskriterium für die Stabilität der Berührungspunkte

Prinzipielle Stellungsmöglichkeiten der Radsätze im Bogen



Voraussetzung: Die Radsatzfesselungen müssen die Bewegungsmöglichkeiten der Radsätze sicher stellen

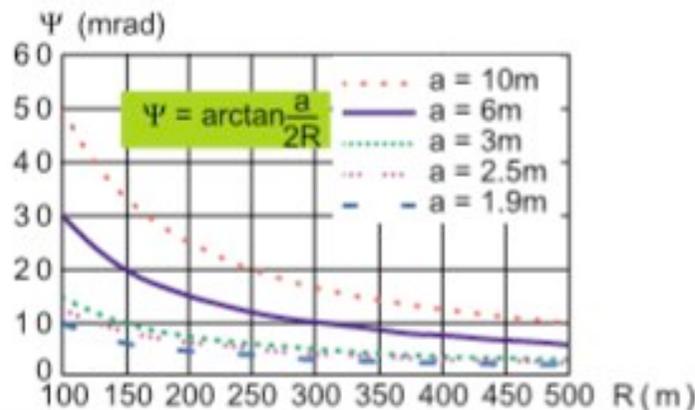
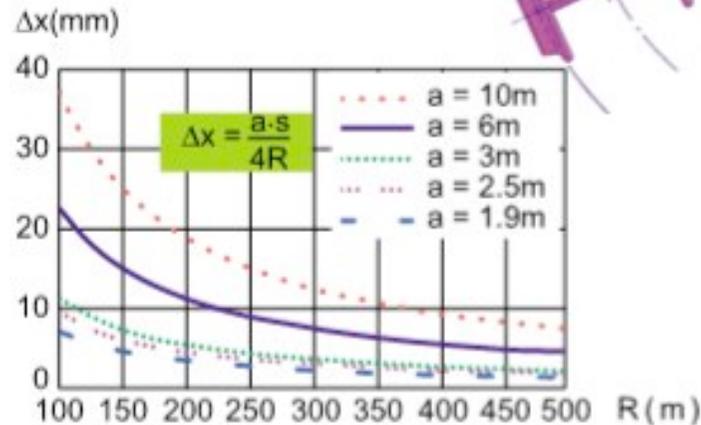
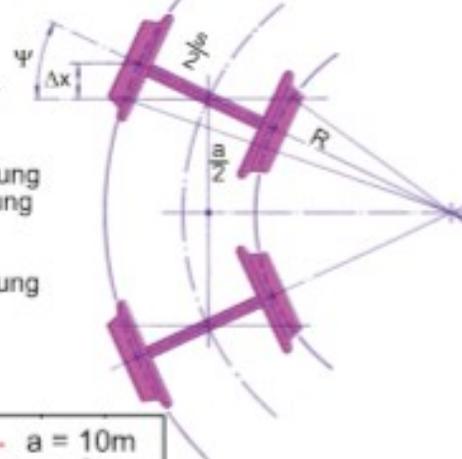
Technische Lösungen die über diese Fähigkeiten verfügen



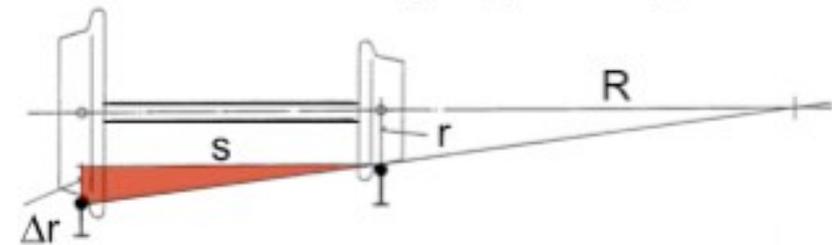
Voraussetzungen für die radiale Einstellung der Radsätze in Bögen

Geometrische Fahrzeugbedingungen zur Erfüllung der Radialeinstellung der Radsätze

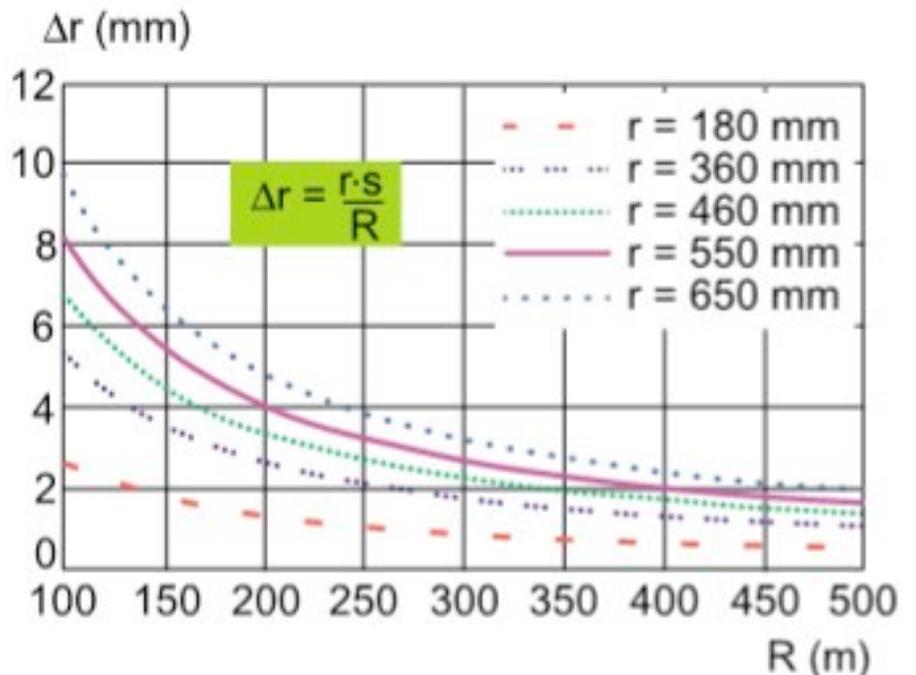
- R = Bogenhalbmesser
- s = Abstand der Laufkreise der Räder eines Radsatzes
- a = Achsabstand
- Δx = Erforderliche Längsauslenkung eines Radsatzes zur Erzielung der Radsatzeinstellung
- Ψ = Ausdrehwinkel zwischen Radsatz und Radsatzhalterung um die Radsatzhochachse



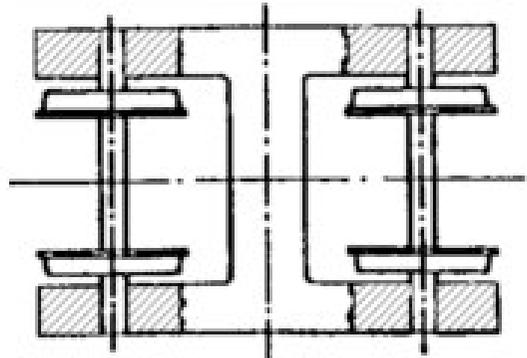
Erfüllung der kinematischen Abrollbedingung im Bogen



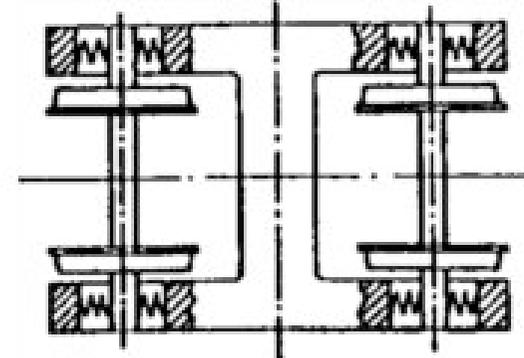
- R = Bogenhalbmesser
- s = Abstand der Laufkreise der Räder eines Radsatzes
- r = Halbmesser des Rades im Laufkreis
- Δr = Radiusdifferenz der Räder eines Radsatzes



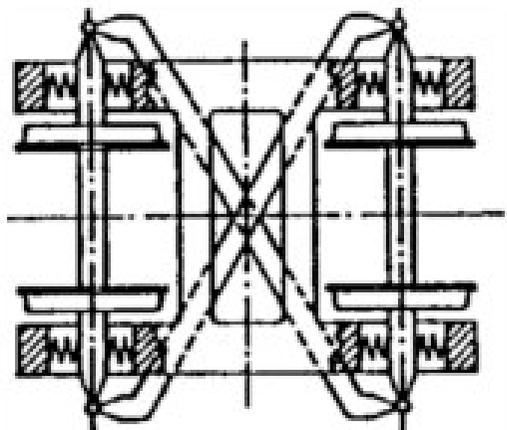
Laufwerksprinzipien bei Drehgestelfahrzeugen



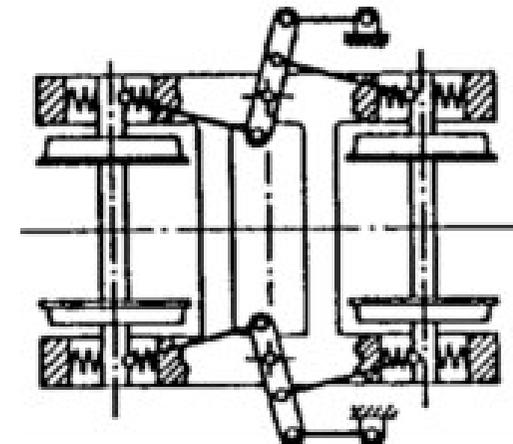
Laufwerkprinzip 1
starrgeführte Radsätze



Laufwerkprinzip 2
elastisch geführte Radsätze

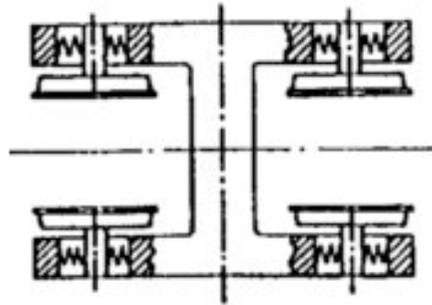


Laufwerkprinzip 3
gegenseitig gekoppelte Radsätze

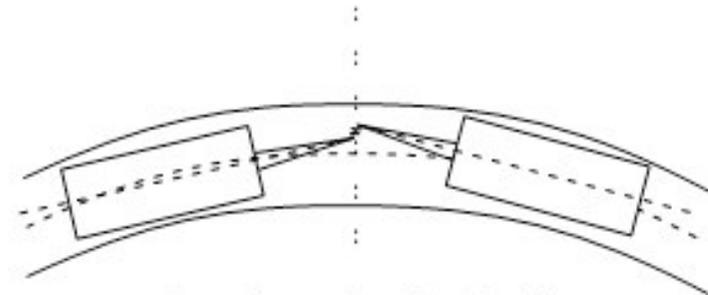


Laufwerkprinzip 4
kastenseitig gesteuerte Radsätze

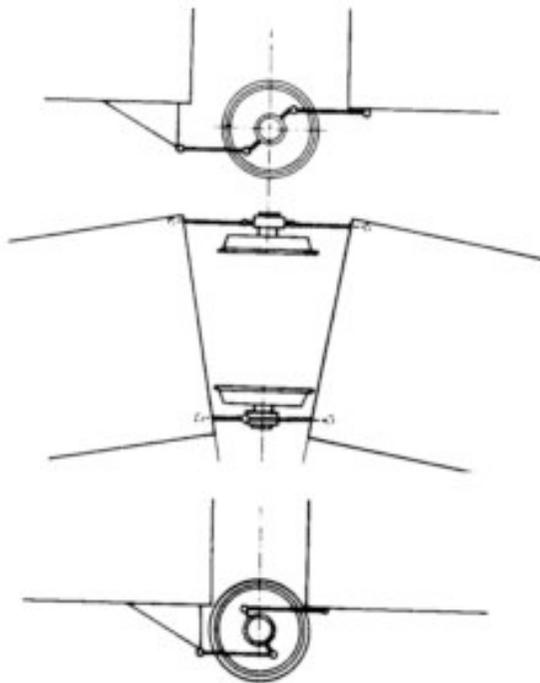
Spezielle Laufwerksprinzipien



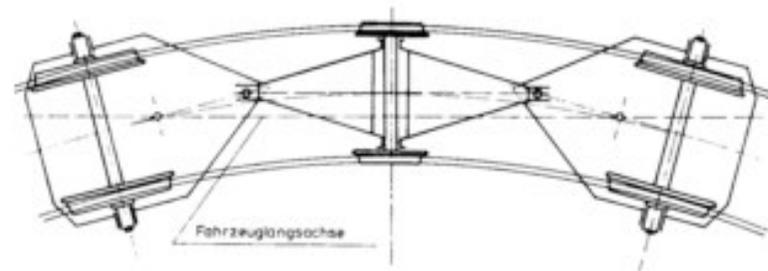
Laufwerkprinzip 5
Losräder



Laufwerkprinzip 6
Querkupplung

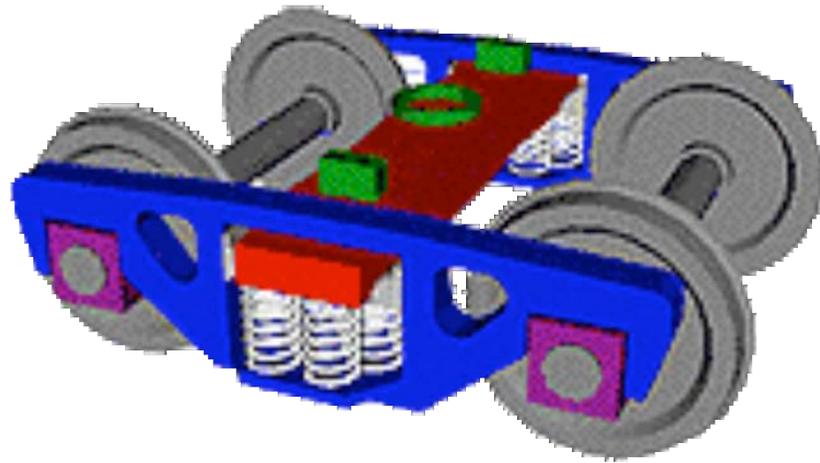


Laufwerkprinzip 7
Kastengesteuerte Losräder

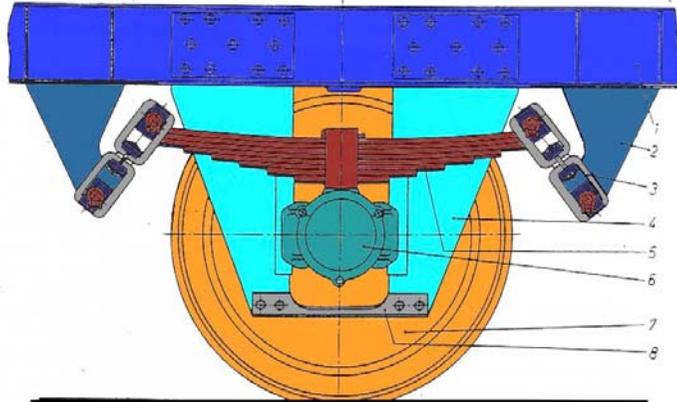


Laufwerkprinzip 8
Lenkdreiachser

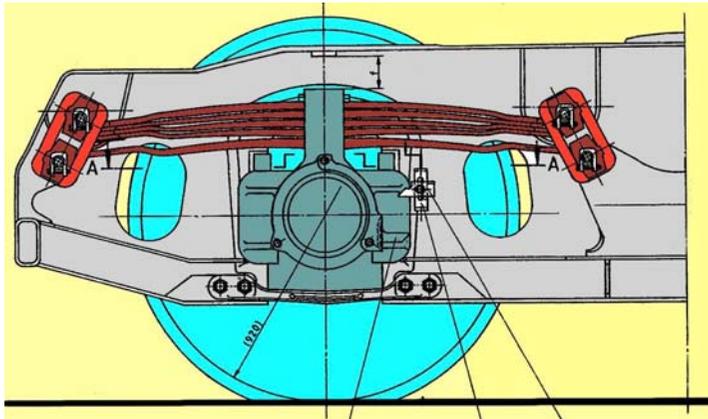
Drehgestell im Schwerlastverkehr (Three piece bogie)



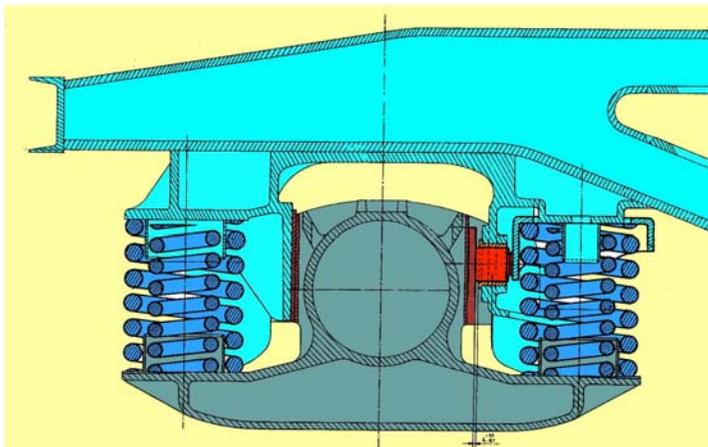
Prinzipien für Güterwagenlaufwerke



Zweiachser mit
verschiedenen
Gehängetypen



Blatt- und Parabel-
feder-Drehgestelle

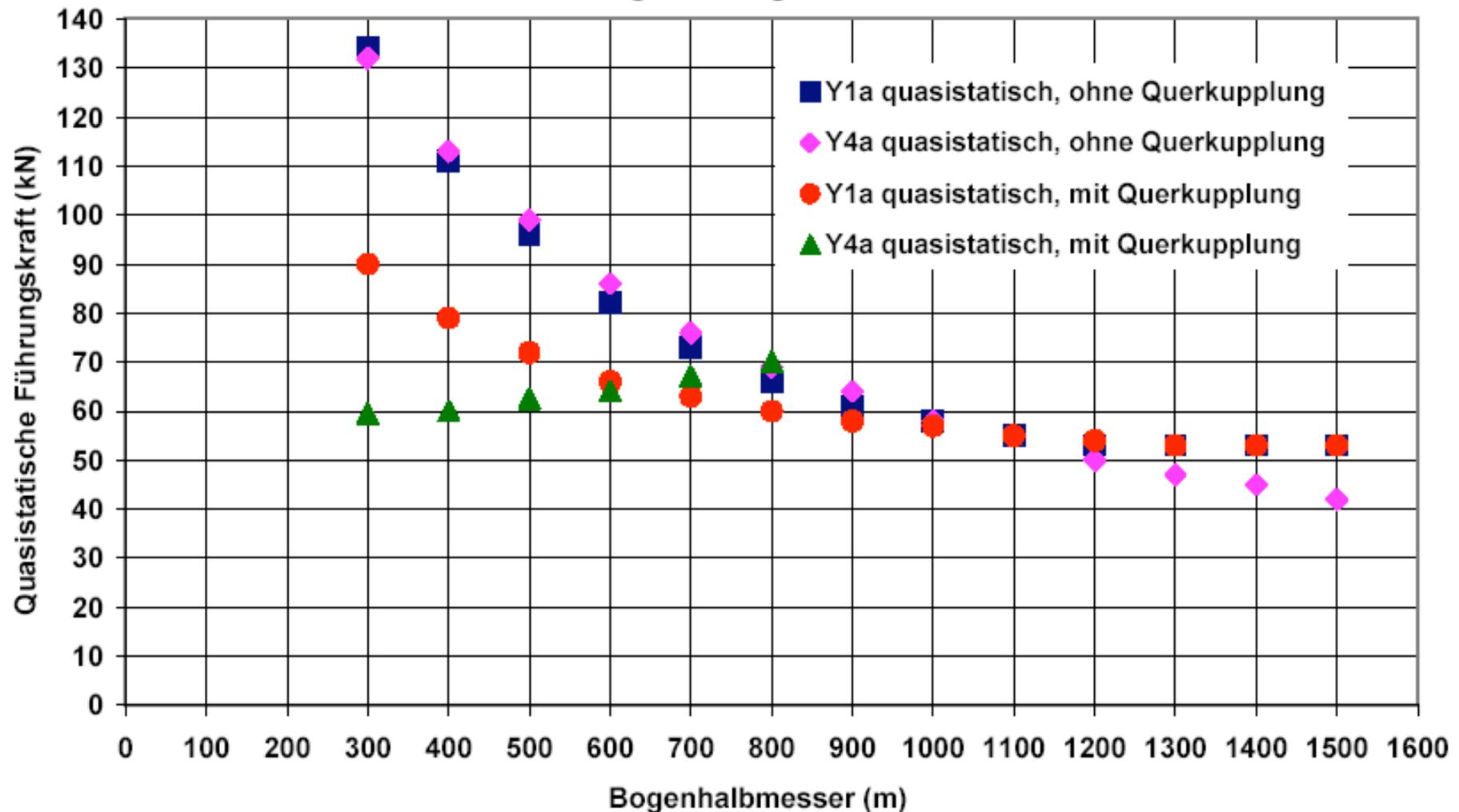


Drehgestell Y 25

Radiale Einstellbarkeit der Radsätze in Bögen

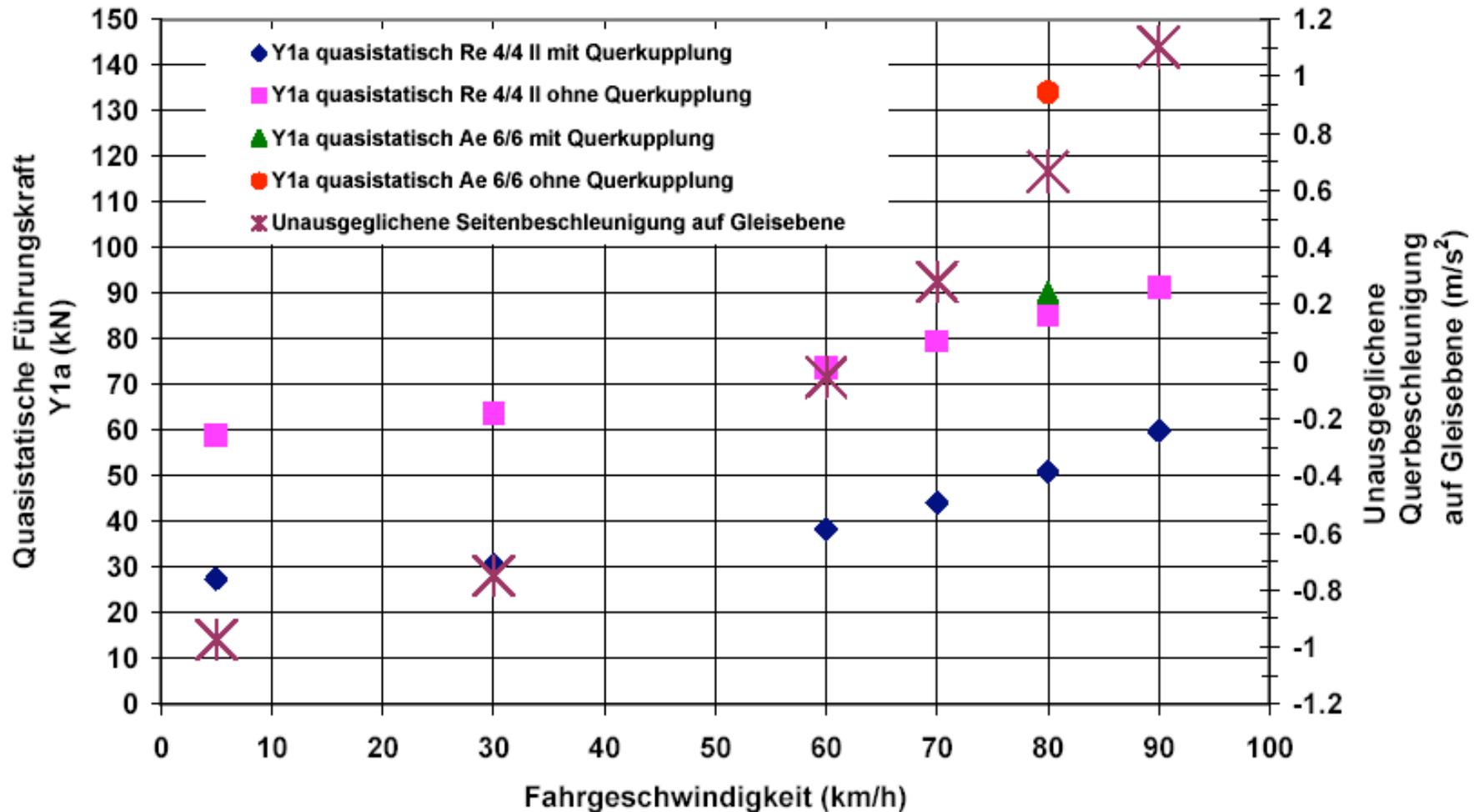
Führungskräfte Y1a bei eine Co'Co'-Lokomotive mit und ohne Querkupplung in Abhängigkeit von R

Quasistatischen Führungskräfte an den bogenäusseren vorlaufenden Rädern der beiden dreiachsigen Drehgestelle bei der SBB-Lok Ae 6/6



Führungskräfte Y1a: Vergleich Co'Co'- mit Bo'-Bo-Lokomotive mit und ohne Querkupplung im Bogen mit R = 300 m

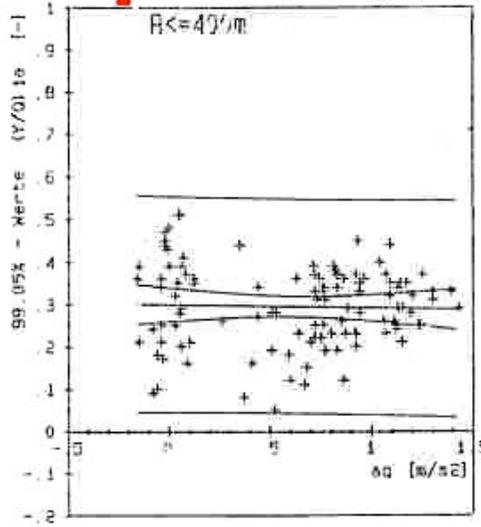
Quasistatische Führungskräfte bei ersten Radsatz bogenaussen mit und ohne Querkupplung im 300 m - Bogen



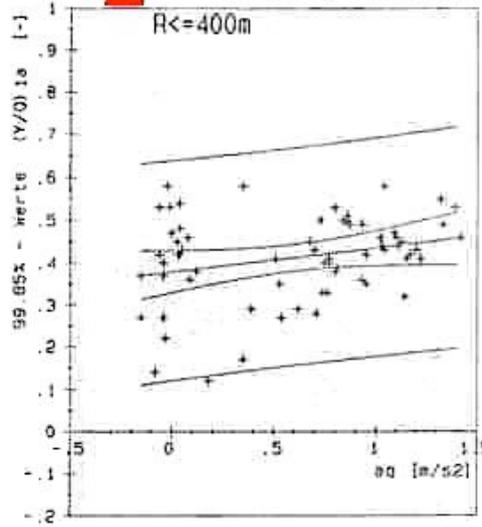
Radstände im Drehgestell: Re 4/4 II 2.9 m, Ae 6/6 4.3 m

Quasistatische Werte (Y/Q)1a im 400 m Bogen

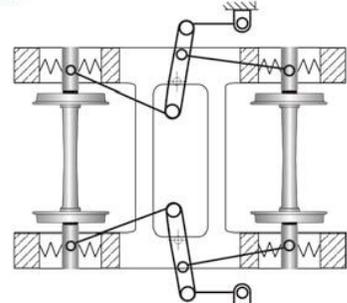
1 - (Y/Q) 1a (gl.M.)



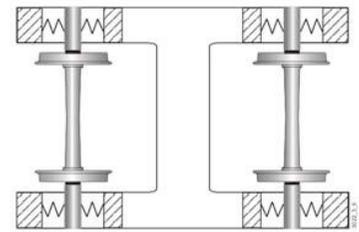
2 - (Y/Q) 1a (gl.M.)



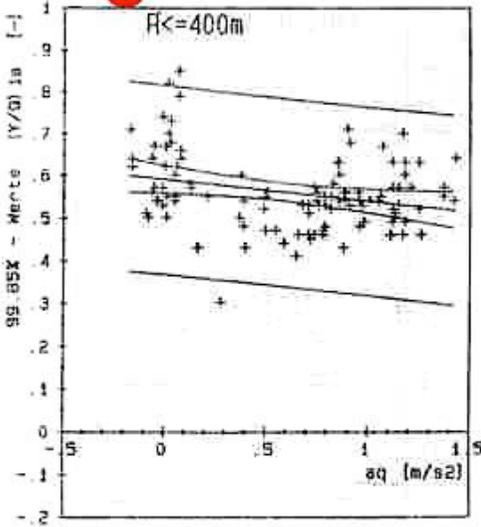
1 Running gear with linkage-steered wheelsets



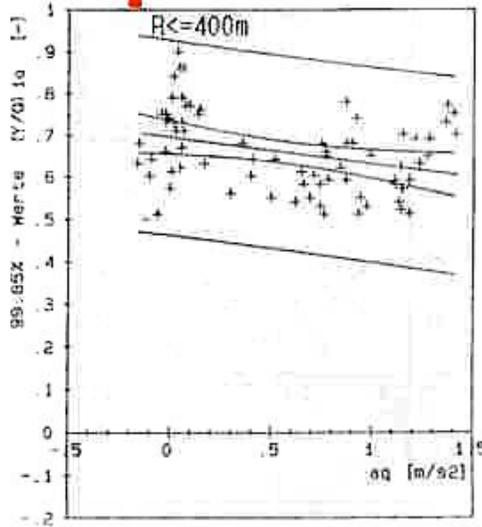
2 Running gear with steered wheelsets (soft guidance)



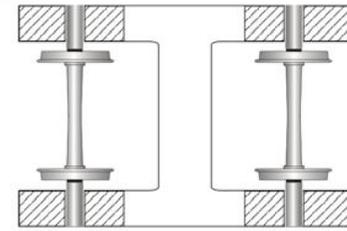
3 - (Y/Q) 1a (gl.M.)



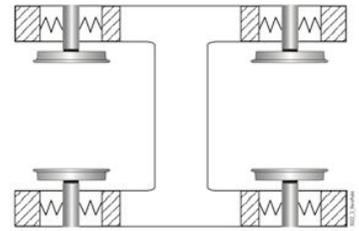
4 - (Y/Q) 1a (gl.M.)



3 Running gear with steered wheelsets (stiff guidance)

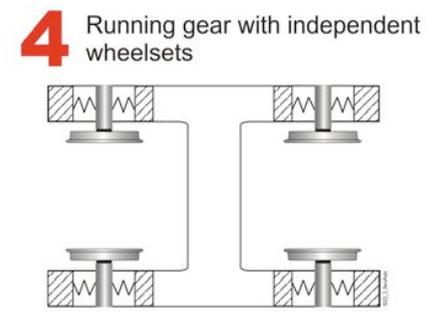
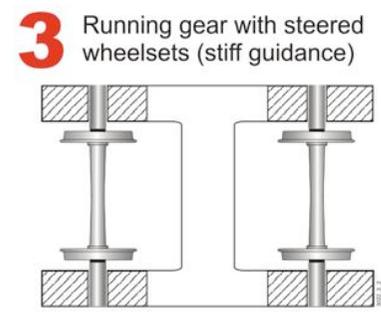
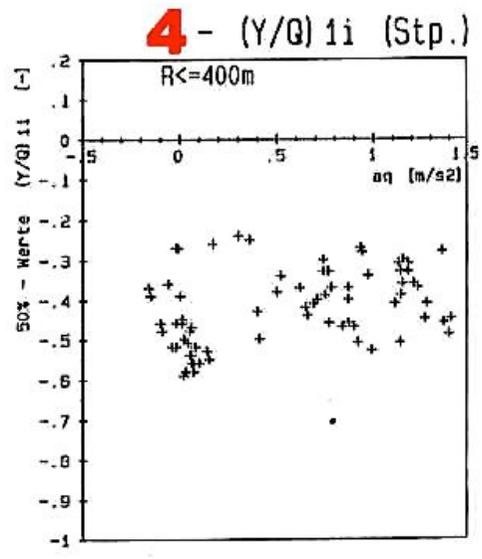
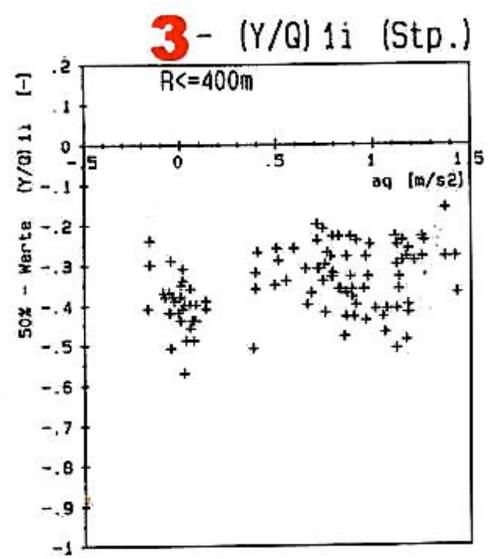
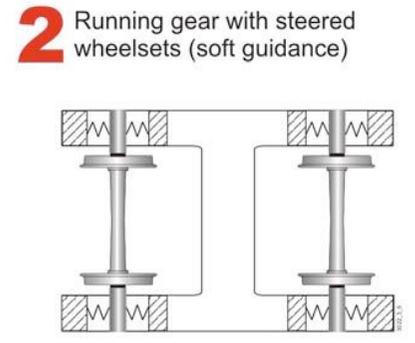
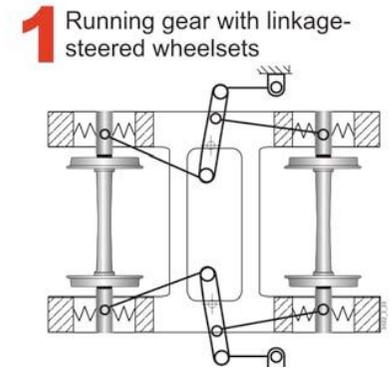
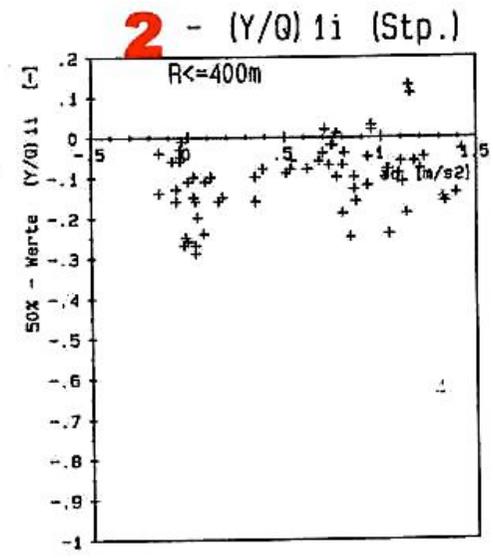
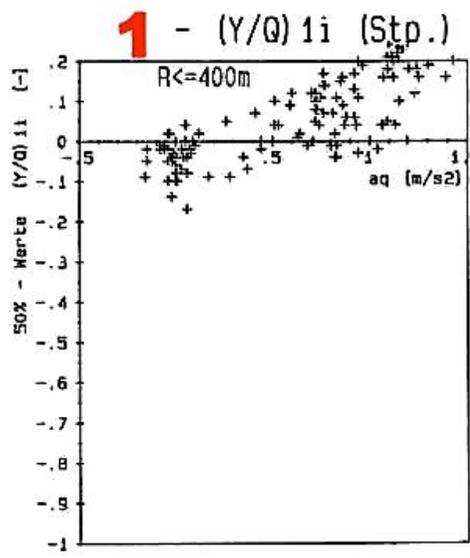


4 Running gear with independent wheelsets



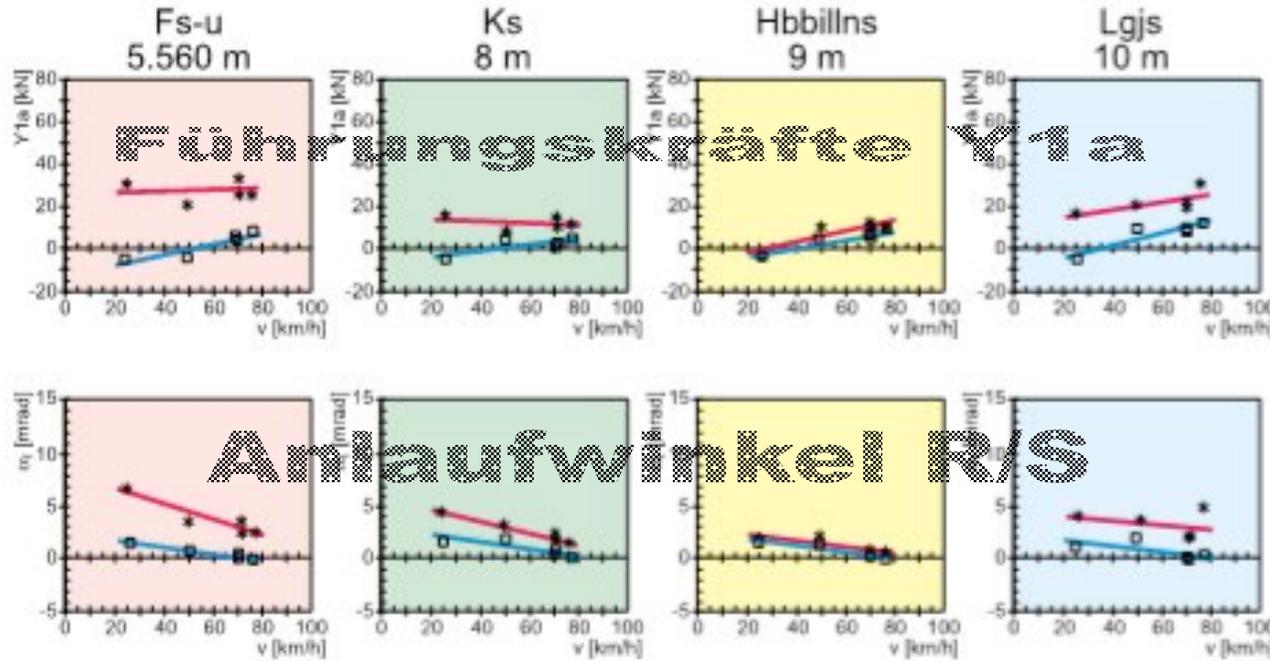
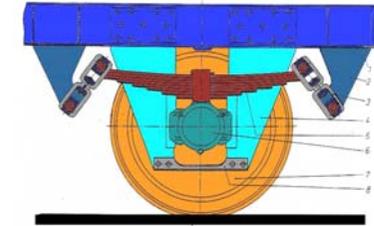
Reisezugwagen vom Typ Z

Quasistatische Werte $(Y/Q)_{1i}$ im 400 m Bogen

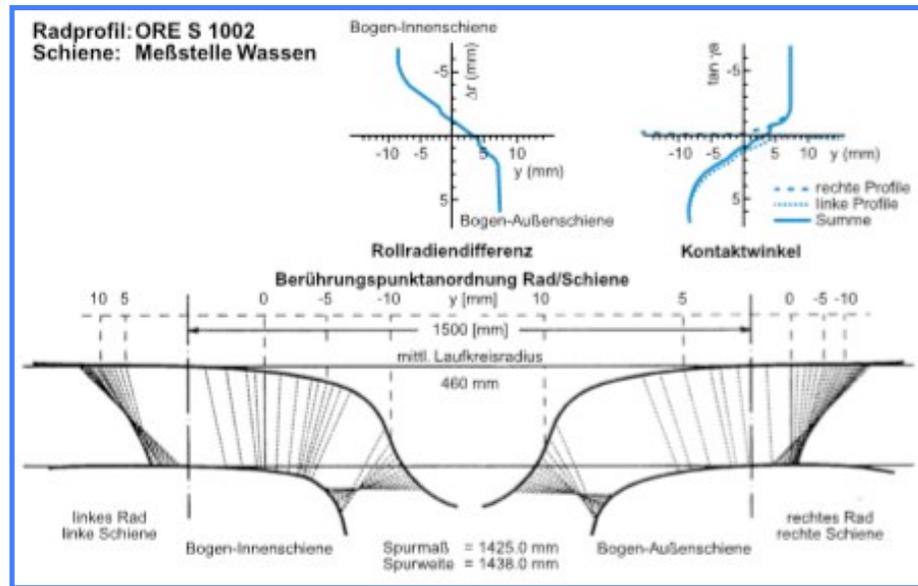
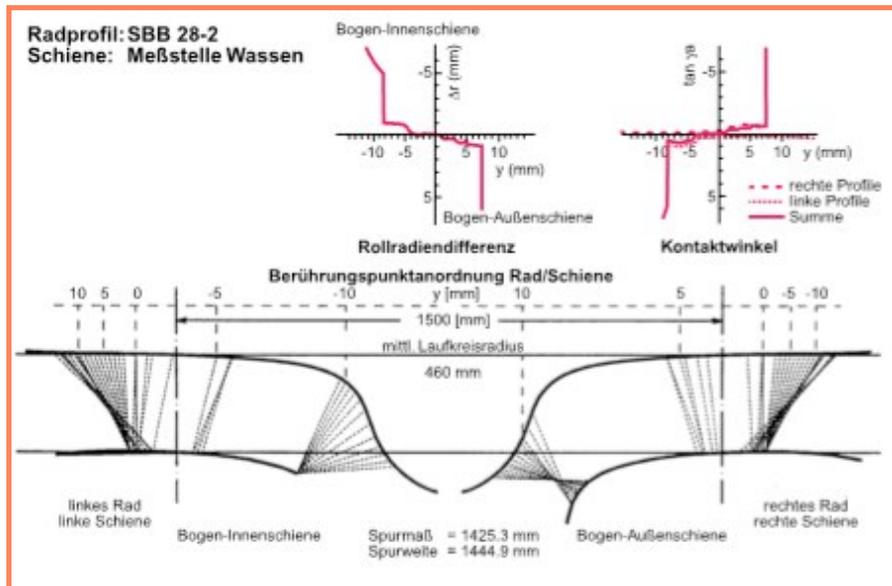


Reisezugwagen vom Typ Z

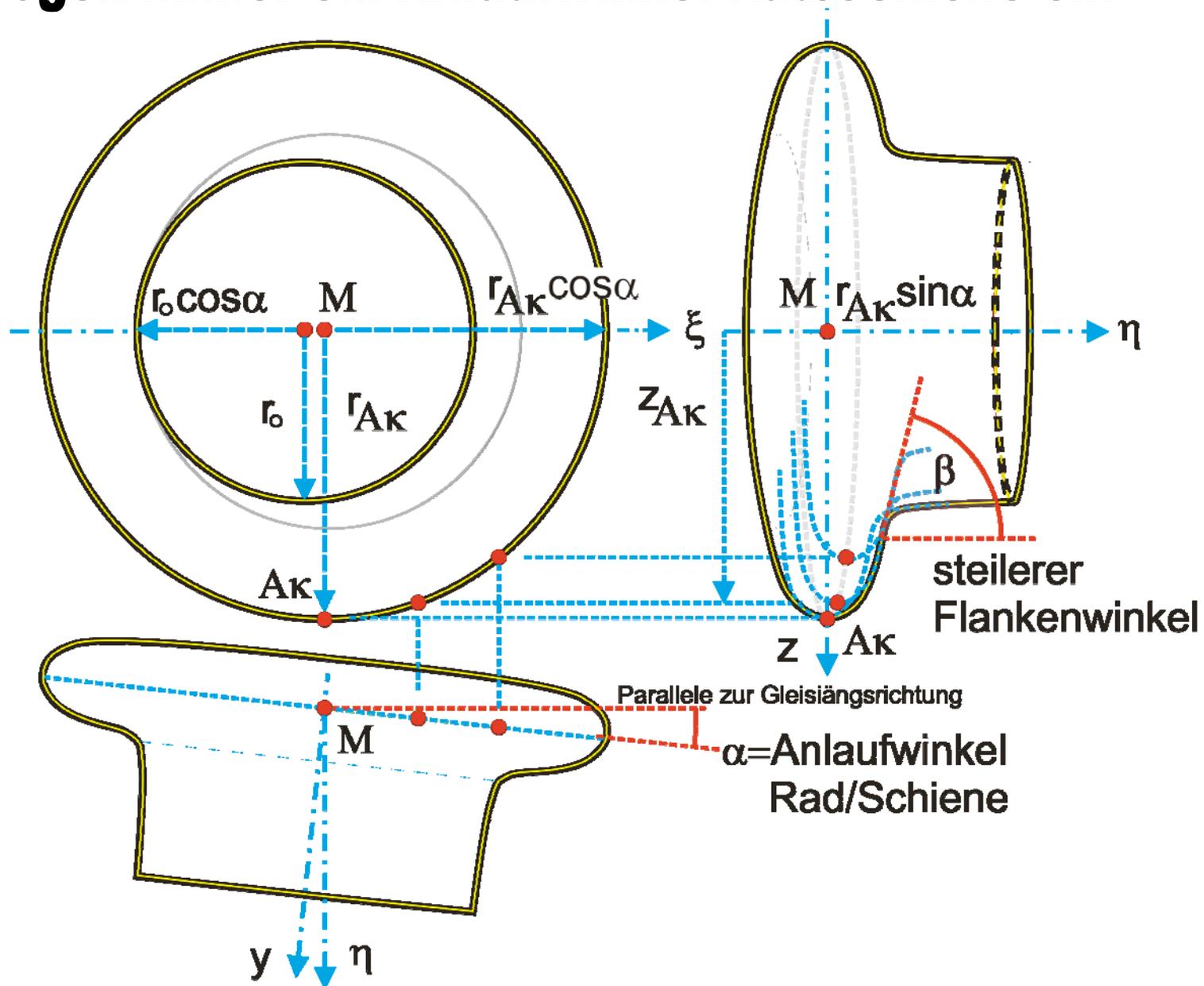
Zweiachsige Güterwagen mit unterschiedlichem Radstand



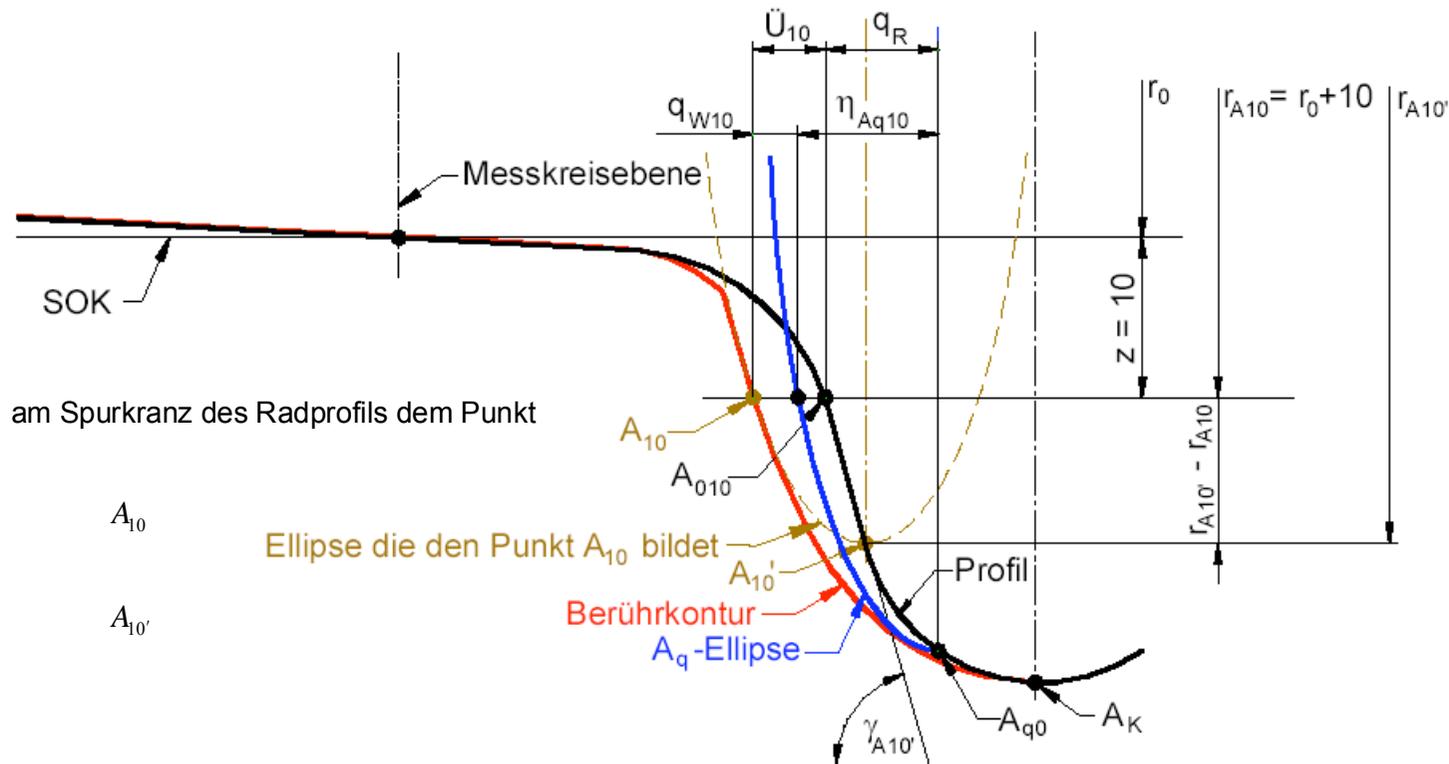
- Bogenhalbmesser 300 m
 - Unterschiedliche Radprofile SBB 28-2 und ORE S1002
 - Günstiges Schienenprofil
- Radprofil SBB 28-2
—□—□—□—□— Radprofil ORE S1002



Bei nicht exakt radial einstellbaren Radsätzen stellt sich im Bogen immer ein Anlaufwinkel Rad/Schiene ein



- \ddot{U}_{10} - Abstand BK zu Profil in Höhe A_{10}
- η_{Aq10} - Auslenkung der A_q -Ellipse in Höhe A_{10}
- q_{W10} - Abstand BK zu A_q -Ellipse in Höhe A_{10}



Bedingt durch den Anlaufwinkel Rad/Schiene α bewegen sich die Punkte des Spurkranzumrisses in die Richtung der Gleismitte und bilden damit die Berührkontur mit all-fälligen Gegenständen im Gleis (z. B. Weichenzungen)

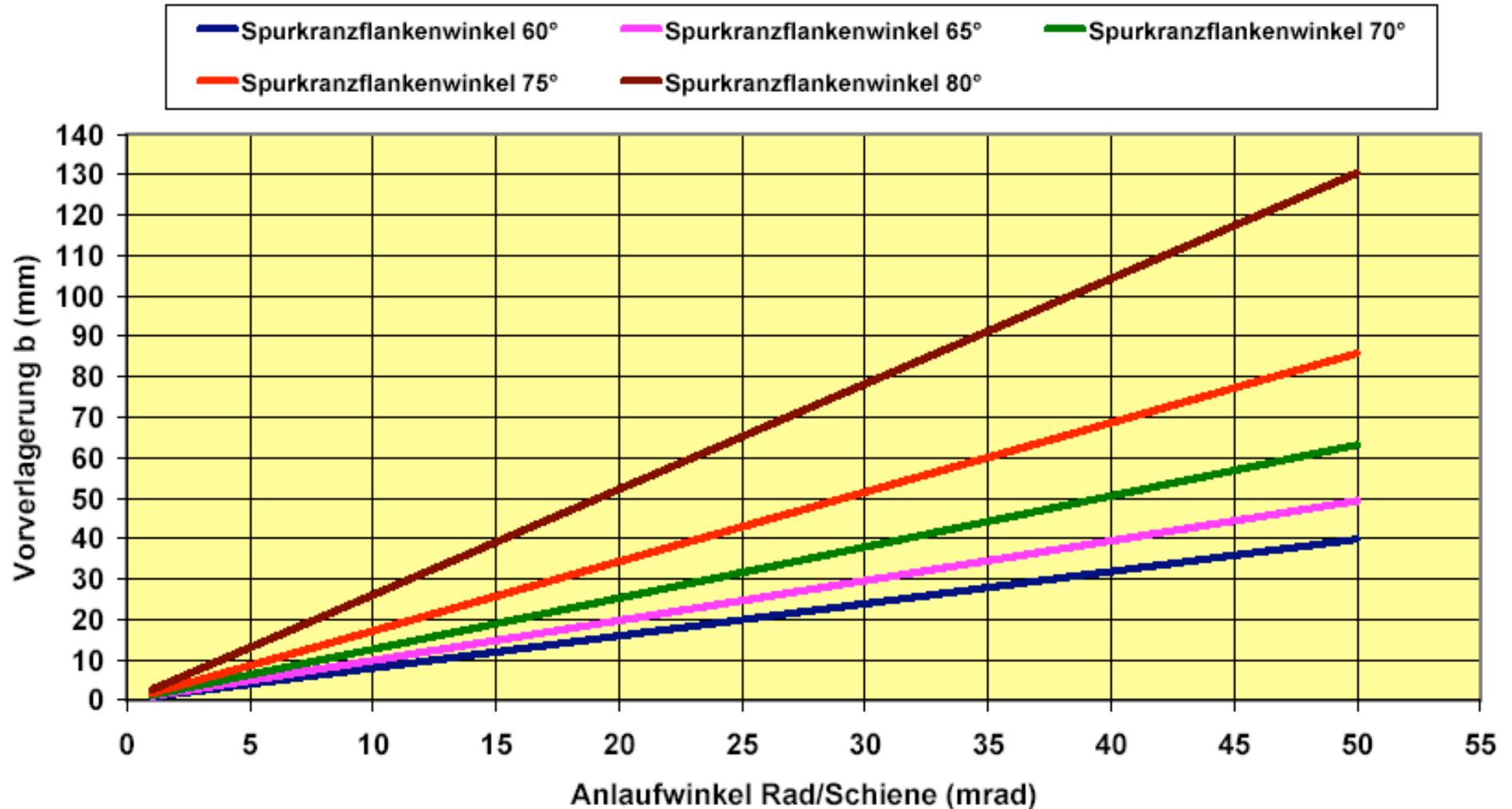
$$\eta_A = r_{A'} \sin^2(\alpha) \tan(\gamma_{A'})$$

Die Punkte der Berührkontur sind wegen des Anlaufwinkels Rad/Schiene gegenüber den Punkten des Radprofils in der Mittenebene um den Abstand b in der Gleislängsachse vor verlagert

$$b \approx r_0 \alpha \tan \gamma_A$$

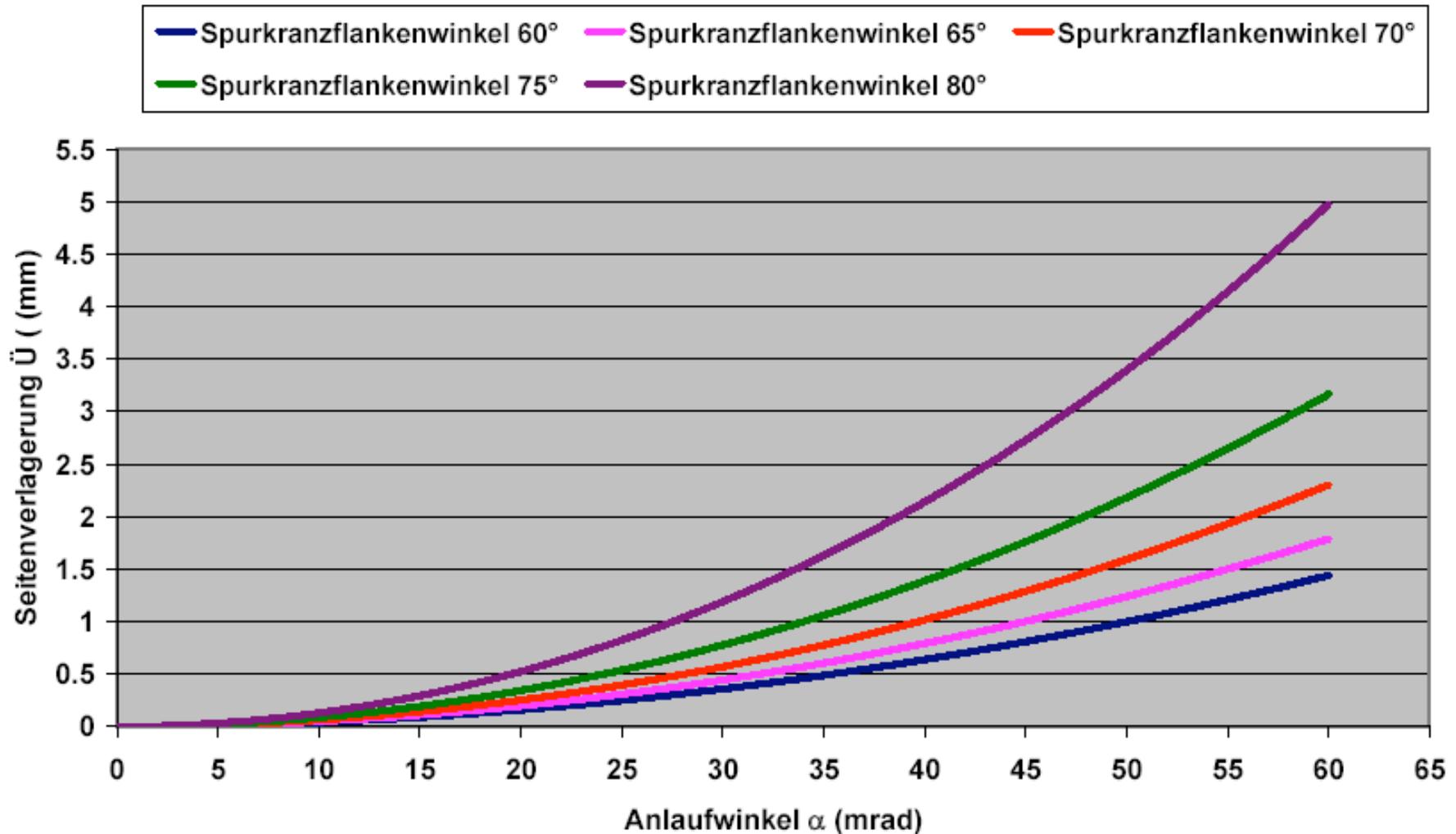
Vorverlagerung des Berührungspunktes Spurkranzflanke - Schiene

Vorverlagerung des Berührungspunktes am Spurkranz in Abhängigkeit des Anlaufwinkels α und des Spurkranzwinkels γ



Seitenverlagerung \ddot{U} in Richtung Gleismitte

Seitenverlagerung \ddot{U} des vorverlagerten Punktes der Berührungskontur



Verkleinerung Spurspiel als Folge des Anlaufwinkels

Spurspielverkleinerung $\Delta\sigma$ in Abhängigkeit des Anlaufwinkels α ,
Raddurchmesser 920 mm

