








- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. Einführung                            | <i>Dipl.-Ing. H. Fricke</i>       |
| 2. Fahrdynamik SPNV                      | <i>Dipl.-Ing. T. Bregulla</i>     |
| <b>3. Fahrwerke und Spurführung SPNV</b> | <i>Dipl.-Ing. H. Fricke</i>       |
| 3.0 Einführung                           |                                   |
| 3.1 Unterschiede BOStrab – Vollbahn      |                                   |
| 3.2 Fahrwerksgestaltung                  |                                   |
| 3.3 Ausgewählte Fahrwerke                |                                   |
| 4. Elektrische Antriebstechnik           | <i>Dipl.-Ing. N. T. Wittemann</i> |
| 5. Bremstechnik SPNV                     | <i>Dipl.-Ing. H. Fricke</i>       |

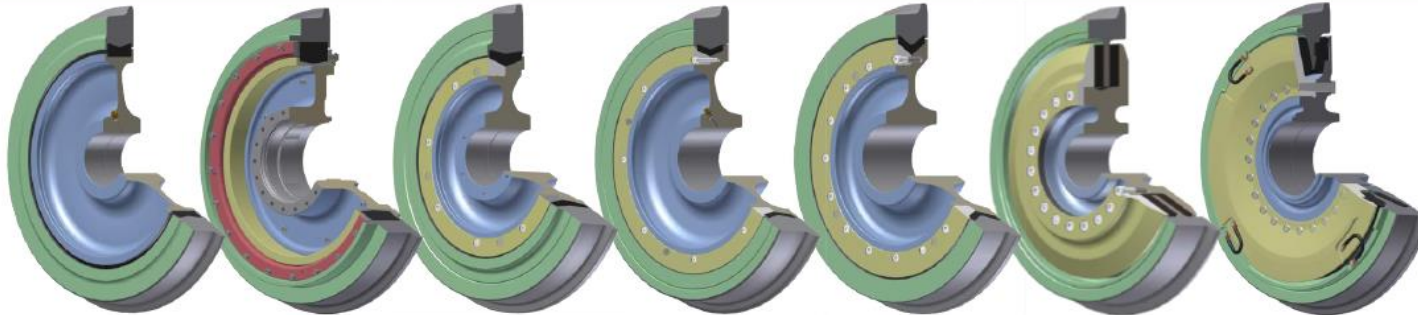
- Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab), § 17 und § 35
- Technische Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) – Technische Regeln Spurführung – (TR Sp), Mai 2006
- Kurz, K.; u.a.: Richtlinien für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) – Spurführungs-Richtlinien (SpR) – Richtlinien text / Erläuterungen / ergänzende Anmerkungen des VDV  
Schriftenreihe für Verkehr und Technik, Band 75  
2. Auflage, Erich Schmidt Verlag 1994
- Frederich, F.; Kraft, D.: Funktionale Spurführungsgeometrie für Nahverkehrsbahnen  
In: Der Nahverkehr 1999, Heft 4
- Frederich, F.; Kraft, D.: Berechnungen zur Spurführung  
In: Der Nahverkehr 1999, Heft 5
- Frederich, F.: Aspekte zur Spurführung  
In: ZEV+DET Glasers Annalen 114(1990)1/2
- Mahr, A.; Lehna, H.; Kühnei, A.: Betrachtungen zur Entgleisungssicherheit unter besonderer Berücksichtigung der Spurkranz-Rückenführung  
In: ZEV+DET Glasers Annalen 121(1997) Heft 8 u. Heft 9

# Folie: Hauptaufgaben eines Fahrwerks

	(Haupt) Komponenten	Das Bauteil ist dafür verantwortlich, dass das Fahrwerk (Fahrzeug)...
<b>Führen</b> 	Radsatz, Radsatzlagerung, Primärfederung	...am Gleis sicher und stabil läuft
<b>Tragen</b> 	Fahrwerksrahmen	...die Belastungen des Wagenkastens trägt
<b>Verbinden</b> 	Drehzapfen	...Längskräfte vom Fahrwerk auf den Wagenkasten überträgt
<b>Antreiben</b> 	Antriebsmotor	...Fahrzeug beschleunigt
<b>Bremsen</b> 	Scheibenbremse, Magnetschienenbremse	...Fahrzeug bremst
<b>Federn</b> 	Primärfederung, Sekundärfederung, Dämpfer	...komfortabel läuft
<b>Sichern</b> 	Zugsicherungseinrichtungen (Antennen)	...sicher entsprechend Fahrplan fährt

(Quelle: Moshhammer; Steinacher: Innovative Leichtbaurahmen – von der Forschung zur Serienanwendung, ZEVrail 2021 TB Graz)

## DIE GUMMIGEFEDERTEN RADBAUARTEN DES BVV



Bo 54	Bo 011	Bo 84	Bo 2000	Bo 06	LoRa	TDAN
Belastbarkeit bei gleichem Freiraum						
100%▲	100%▲	116%▲	124%▲	155%▲	145%△	145%△
Radiale Einfederung bei 60 kN Radlast *)						
0,75 mm	1,2 mm	0,6 mm	0,3 mm	0,25 mm	3,0 mm	2,5 mm

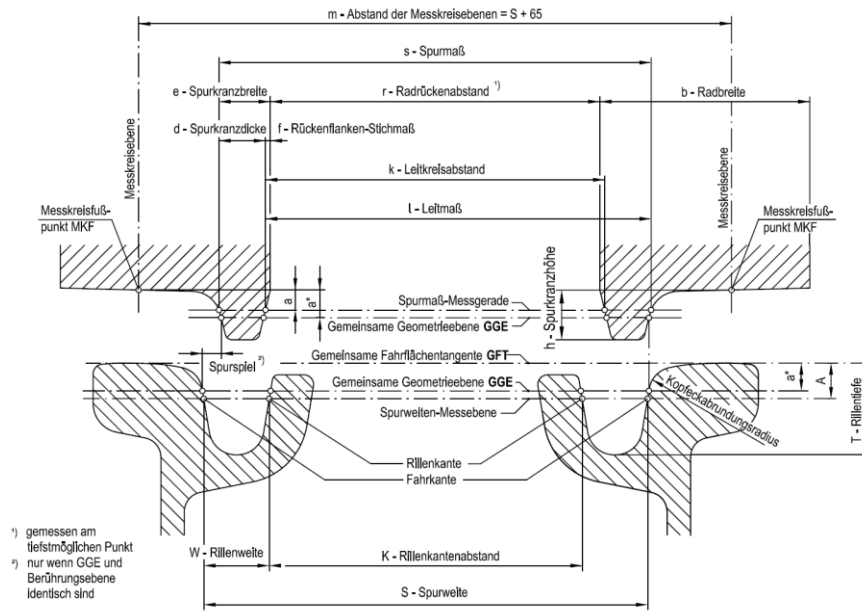
▲ Gleiche Breite der Gummikörper bei den Einringradtypen (informativ)

△ Vergleich zu Einringradtypen bei Reifenbreite 115 mm, L-Ø = 600 mm (informativ)

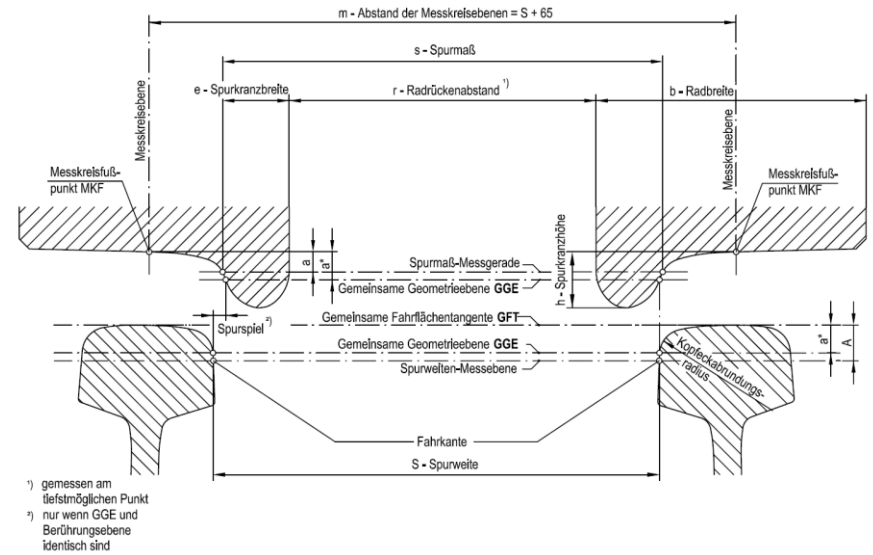
\*) ca.-Werte



# Folie Maßbezeichnungen an Radsatz und Gleis



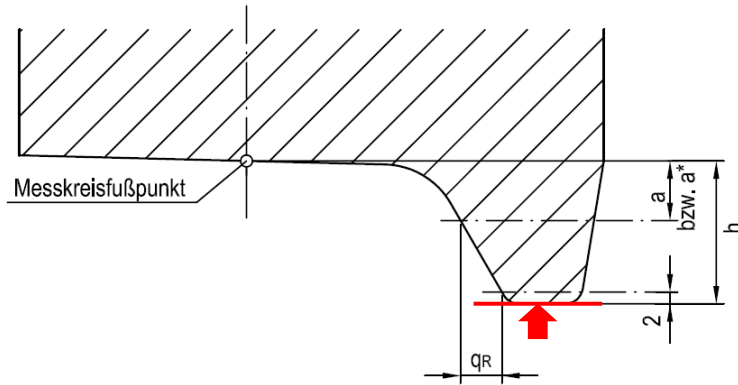
Rillenschienen



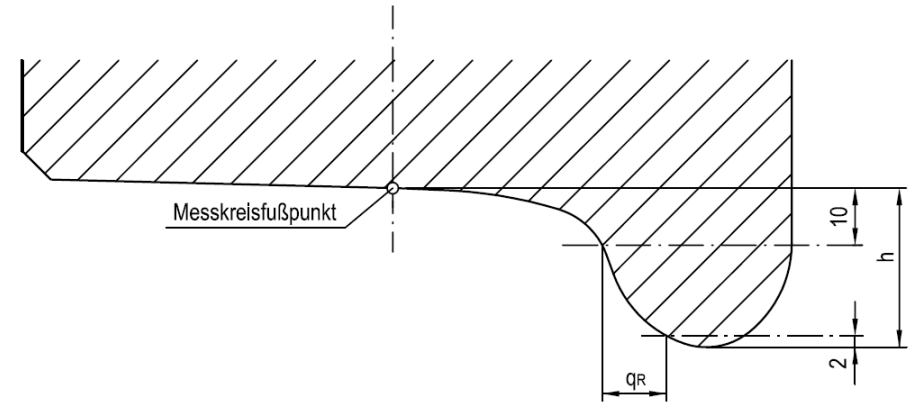
Rillenlose Schienen

(Quelle: Technische Regeln Spurführung, Mai 2006)

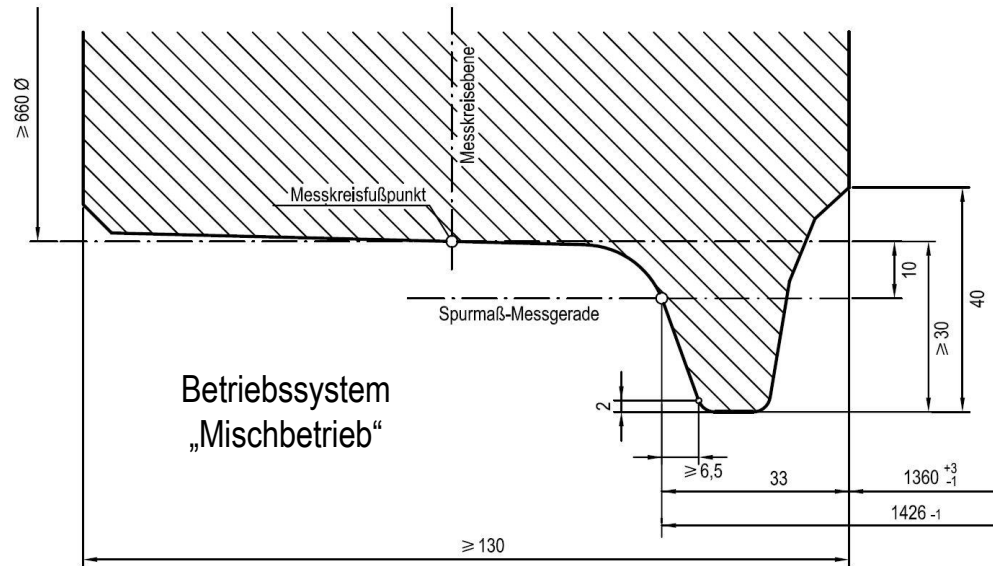
# Folie Betriebssysteme SPNV-Fahrzeuge nach TR Sp



Betriebssystem „Straßenbahn / Stadtbahn“



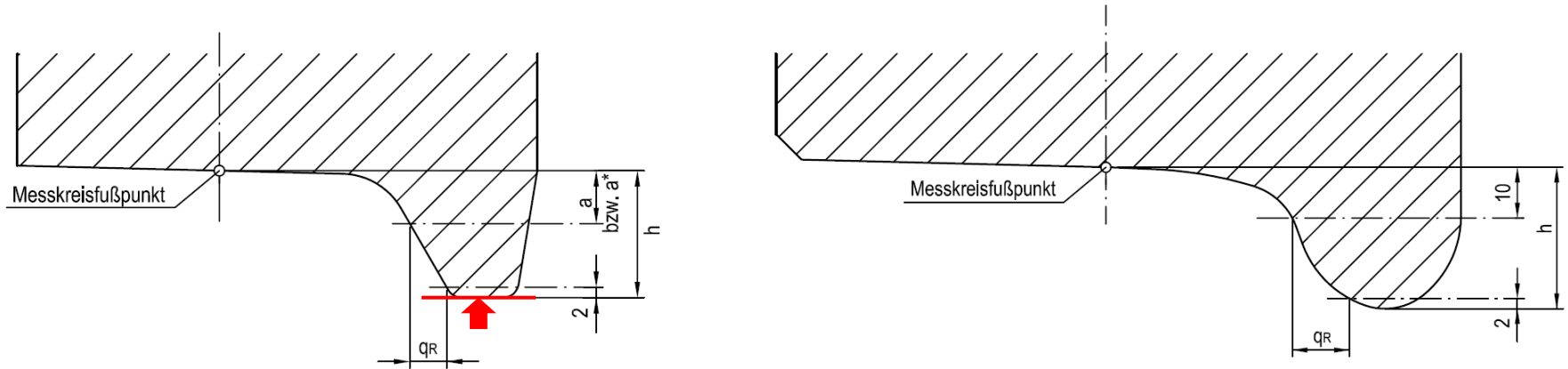
Betriebssystem „Eisenbahnähnlich“  
(Stadtbahn / U-Bahn)



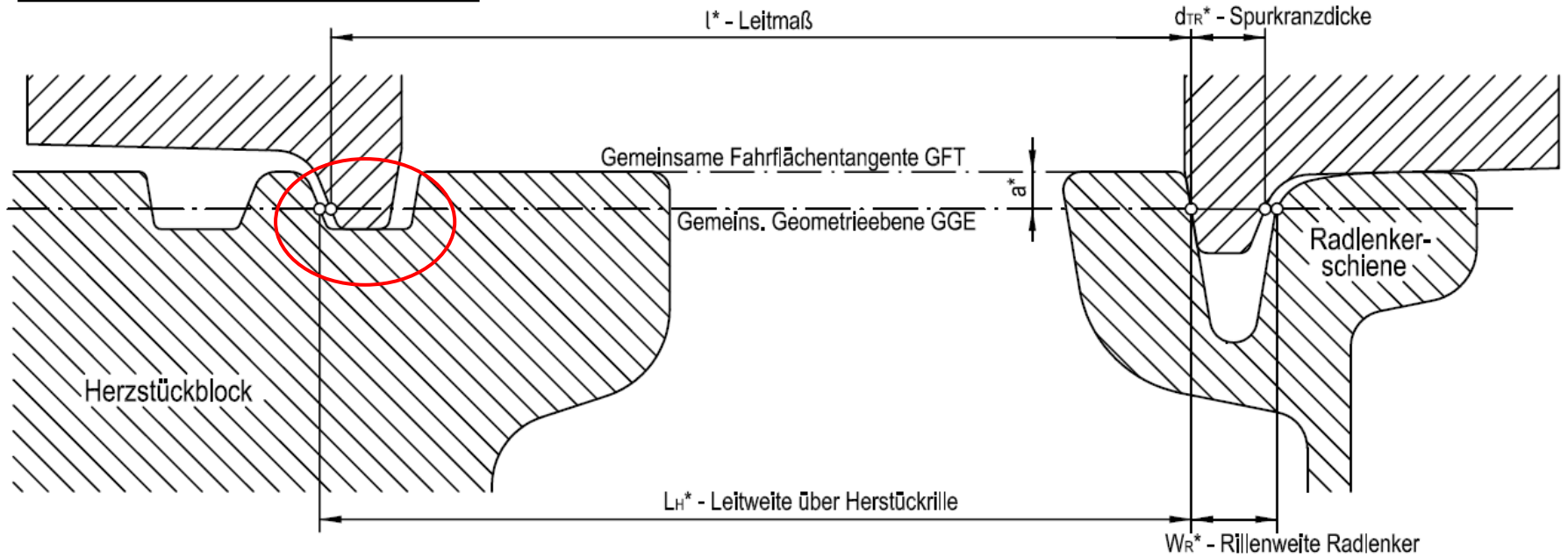
Betriebssystem  
„Mischbetrieb“

(Quelle: Technische Regeln Spurführung, Mai 2006)

# Folie Betriebssysteme SPNV-Fahrzeuge nach TR Sp

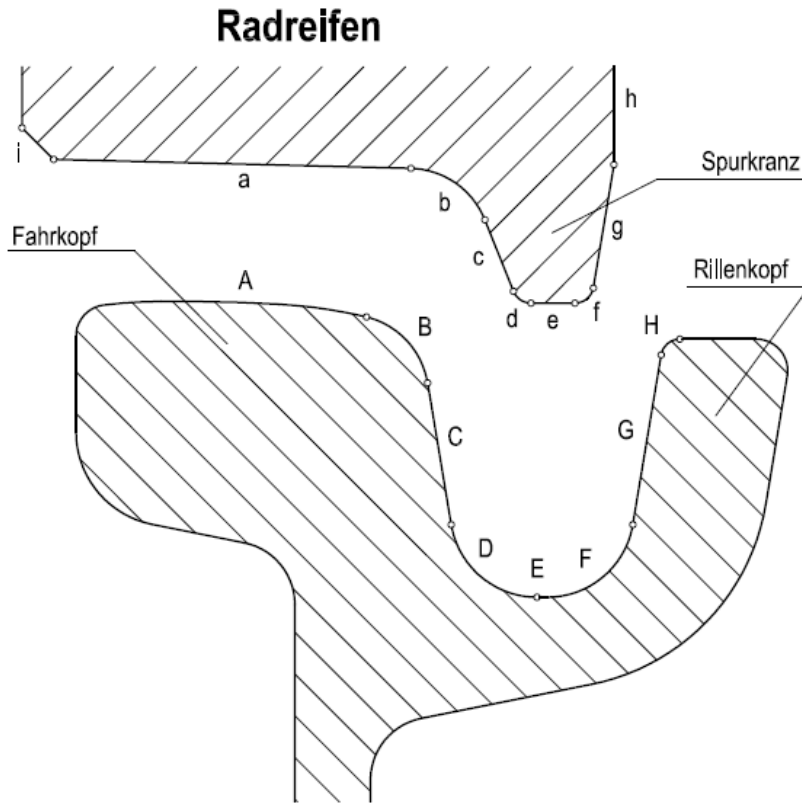


## Anfahren der Leitflanke der Radlenkerrille



(Quelle: Technische Regeln Spurführung, Mai 2006)

# Folie Bezeichnungen am Querschnitt von Rad und Schiene bei Rillenschienen



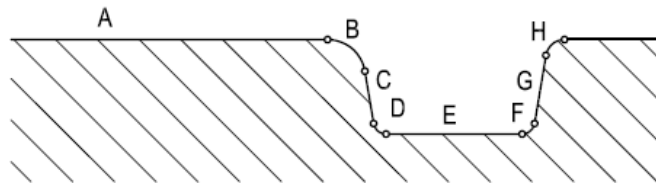
## Rad

- a - Fahrflächenprofil
- b - Spurkranzkehle
- c - Spurkranzstirnflanke
- d - äußere Spurkranzkuppenabrundung
- e - Spurkranzkuppe
- f - innere Spurkranzkuppenabrundung
- g - Spurkranzrückenflanke
- h - Radrücken
- i - Stirnfase

## Schiene

- A - Fahrflächenprofil
- B - Kopfeckabrundung
- C - Fahrflanke
- D - äußere Rillenausrundung
- E - Rillensboden
- F - Innere Rillenausrundung
- G - Rillenflanke (ggf. abschnittsweise Leitflanke)
- H - Rillenkopfabrundung

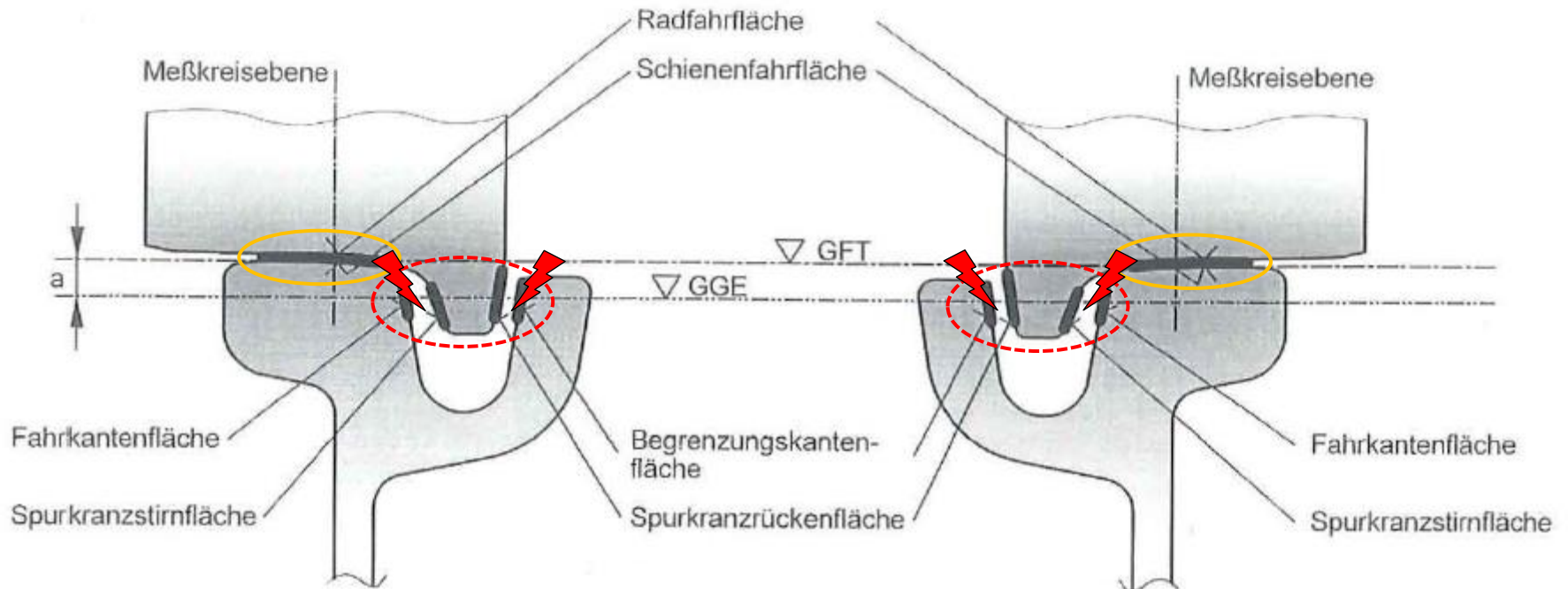
## Flachrillenschiene



(Quelle: Technische Regeln Spurführung, Mai 2006)

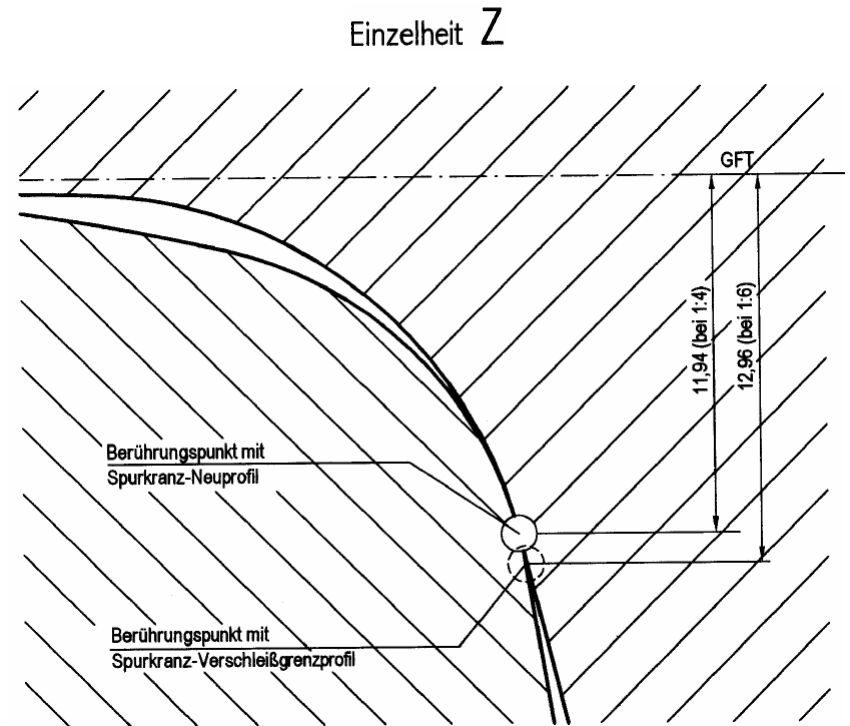
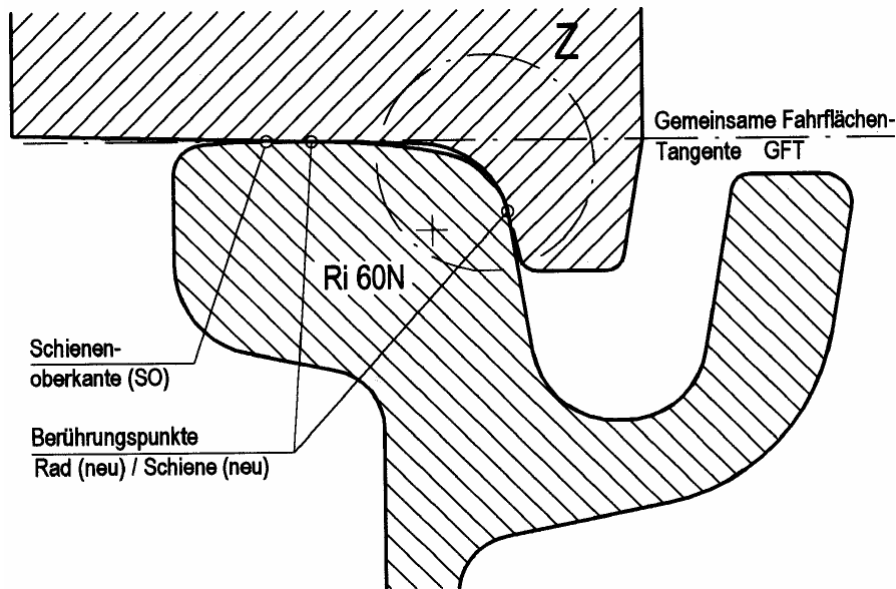
# Folie Mögliche Kontaktflächen zwischen Rad und Schiene bei Rillenschienen

Spurführung = **Spurhaltung** und **Spursicherung**



(Quelle: Frederich; Kraft: Funktionale Spurführungsgeometrie für Nahverkehrsbahnen, Der Nahverkehr 1999-04)

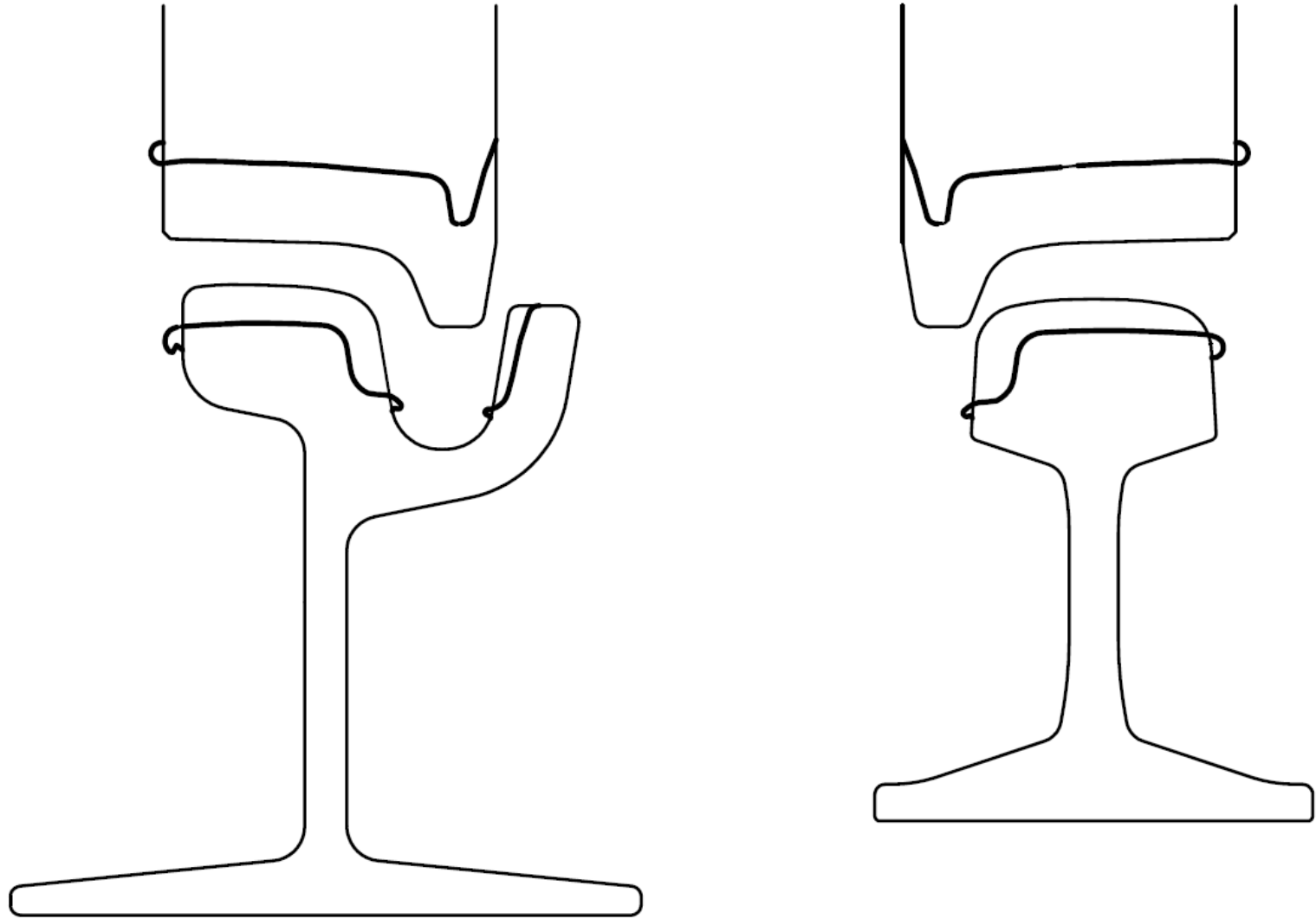
# Folie Anfahpunkte Rad-Schiene bei Rillenschienen



(Quelle: Technische Regeln Spurführung Anhang 3, Mai 2006)

# Folie Verschleißverhalten von Rad und Schiene bei Rillenschienen

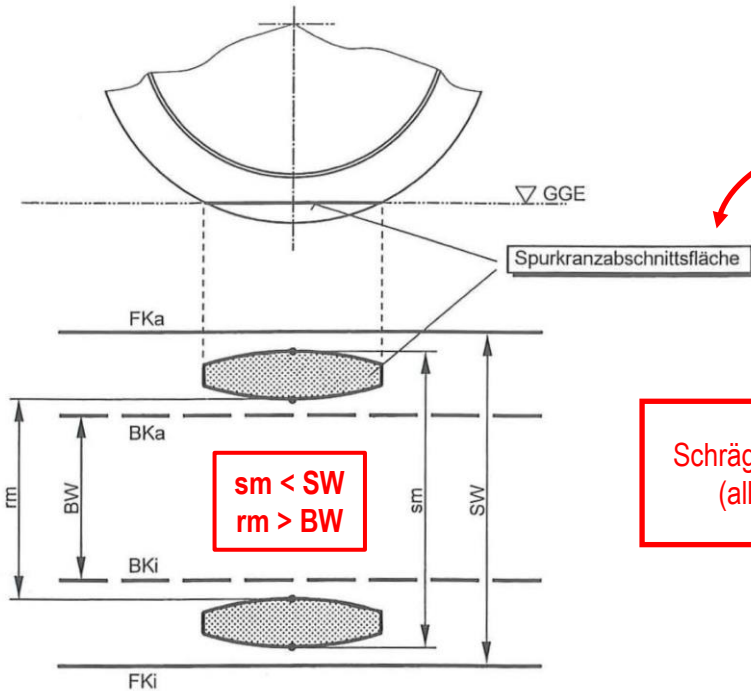
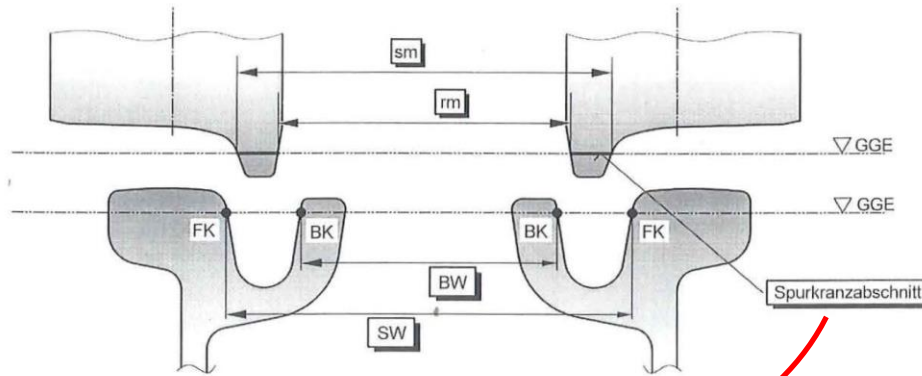
---



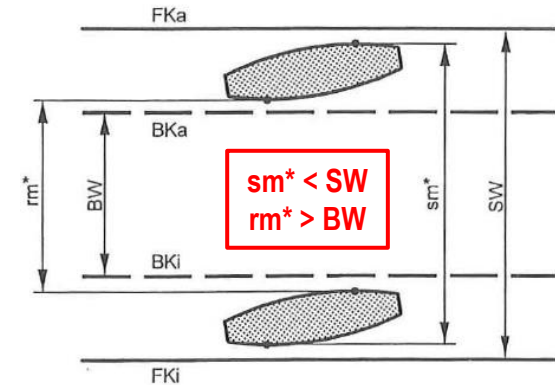
*(Quelle: Technische Regeln Spurführung, Mai 2006)*

# Folie Überprüfung Kontakt Rad/Schiene bei Rillenschienen – Grundanforderung

FK – Fahrkante  
BK – Begrenzungskante

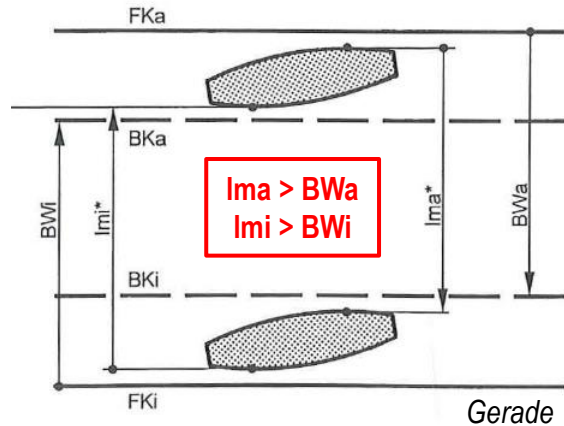


Schrägstellungswinkel  $\neq 0$   
(allgemeiner Fall)

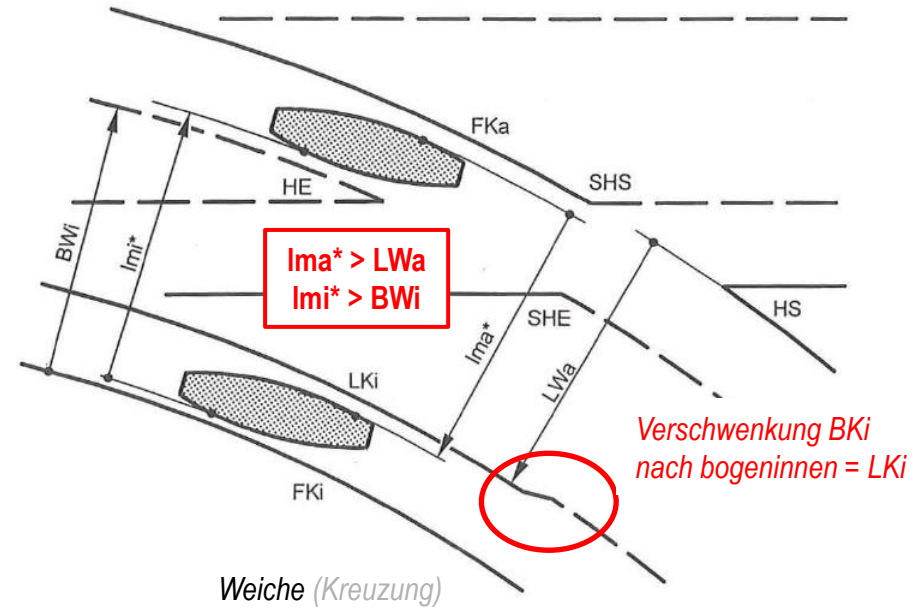
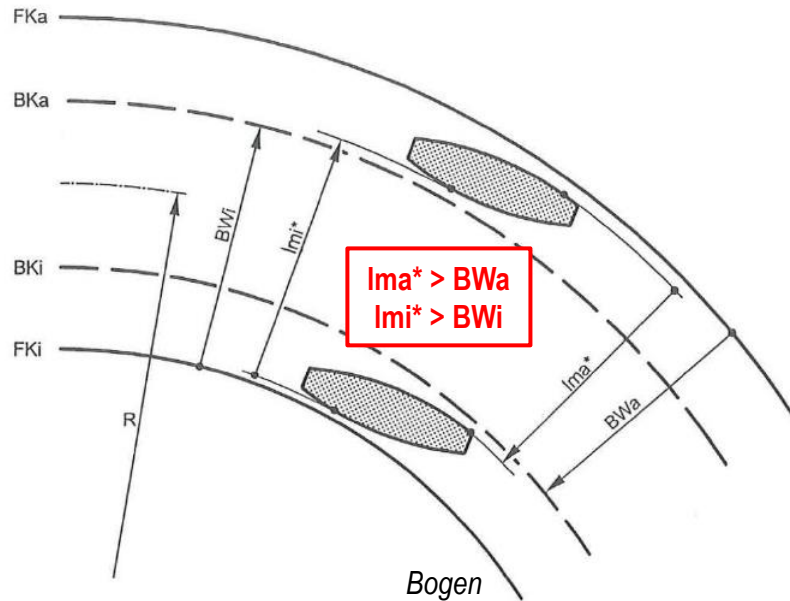


(Quelle: Frederich; Kraft: Funktionale Spurführungsgeometrie für Nahverkehrsbahnen, Der Nahverkehr 1999-04)

# Folie Überprüfung Kontakt Rad/Schiene bei Rillenschienen – Zusatzanforderung



Zusätzliche Maße:  
Fahrwerk: Leitmaße  $Imi$  und  $Ima$ ,  
Gleis: Begrenzungsweiten  $BWi$  und  $BWa$



- HS - Herzstückspitze
- SHS - stumpfe Herzstückspitze
- HE - Herzstückecke
- SHE - stumpfe Herzstückecke

(Quelle: Frederich; Kraft: Funktionale Spurführungsgeometrie für Nahverkehrsbahnen, Der Nahverkehr 1999-04)

# Folie Anforderungen an geometrisch einwandfreie Spurführung in Rillenschienen

	Forderung	Zutreffend für	Überprüfung	
Grundanforderungen	Freilauf der Spurkranz-Stirnflächen (kein Zwängen an Fahrkanten)	Gerade, Bogen, Weiche, Kreuzung	$sm^* < SW$	(1)
	Freilauf der Spurkranz-Rückenflächen (kein Zwängen an Begrenzungskanten)		$rm^* > BW$	(2)
Zusatzanforderungen	Freilauf der Spurkranz-Rückenflächen, innen (keine Berührung an Begrenzungskanten)	Gerade, Bogen	$Ima^* > BWa$	(3)
	Freilauf der Spurkranz-Rückenflächen, außen (keine Berührung an Begrenzungskanten)		$Imi^* > BWi$	(4)
	kein Stoß auf Herzstück-Spitzen	Weiche, Kreuzung	$Ima^* < LWa$	(5)
	kein Stoß auf Herzstück-Ecken		$Imi^* > BWi$	(6)

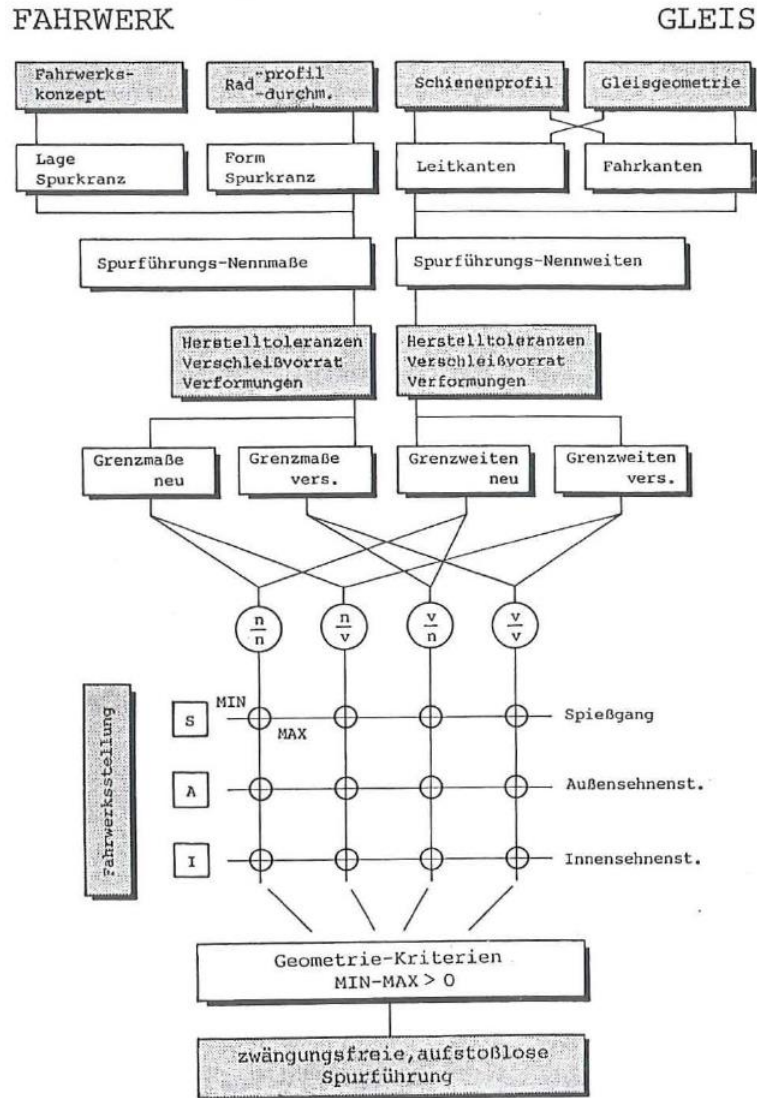
\* = radial zum Gleis gemessen

Geometrie-Kriterien für zwängungs- und aufstoßfreie Spurführung

<b>MIN - MAX</b>	<b>&gt; 0</b> <b>≤ 0</b>	<b>zweckmäßig</b> <b>nicht zulässig</b>
SW - sm*	<b>&gt; 0</b>	Gerade, Bogen Weiche, Kreuzung
rm* - BW		
Ima* - BWa		Gerade Bogen
Imi* - BWi		
LWa - Ima*		Weiche Kreuzung
Imi* - BWi		

(Quelle: nach Frederich; Kraft: Funktionale Spurführungsgeometrie für Nahverkehrsbahnen, Der Nahverkehr 1999-04)

# Folie: Verfahren zur Kontrolle der korrekten Abstimmung Fahrwerk-Gleis



(Quelle: nach Frederich; Kraft: Funktionale Spurführungsgeometrie für Nahverkehrsbahnen, Der Nahverkehr 1999-04)

# Folie Bsp. Quermaß-Nachweis nach TR Sp, Anhang 3

Quermaßuntersuchung für: **VDV** Nennspurweite: **1435** mm

Zusätzlicher Platzbedarf der Spurränze im Gleisbogen (bei Spießgang)

Fahrzeugtyp: **Musterfzg. 1**

Alle Längenmaße in mm, alle Winkel in dezimalgeteiltem Grad!

**Eingabewerte Rad/Radsatz** (horizontale Maße in der Spurmaß-Messgeraden gemessen):

**Allgemeine Maße** (alle Maße beziehen sich auf einen Radsatz rechtwinklig zum Gleis):  
 Abst. a der Spurmaß-Messgerade von MKF / Abst. a' der GGE von MKF:

	14,0	14,00		
Nenn-Rückenflächenabstand r / Fertigungstoleranz plus / minus:	1.384,0	2,0	0,0	
Spurmaßvergrößerung / -verkleinerung bei 3/3-Vollast:		1,0	0,0	
Nenn-Spurkranzdicke b / Fertigungstoleranz plus / minus:	22,00	0,0	-0,5	16,0
Rückenflanken-Stichmaß f / Fertigungstoleranz plus / minus:	19,7	0,0	-1,0	12,5
Nenn-Spurkranzhöhe h / Fertigungstoleranz plus / minus:	2,3	0,5	0,0	3,5
Nenn-Spurkranzhöhe h' / Fertigungstoleranz plus / minus:	22,0	0,0	-1,0	18,0
Nellig. 1.n <sub>3</sub> / 1.n <sub>6</sub> der Spurr.-stirn- / rückenflanke:	4,000	6,000	6,000	6,000
Achsabstand a <sub>0</sub> der starren Radachsen:	1.900,0			
Messkreisdurchmesser d <sub>m</sub> :	700,0	620,0		
Querschiebbarkeit Q der gummielagerten Radreifen:	2,0	-2,0		

**Eingabewerte der Verschleißgrenzmaße**

	14,0	
Positive / negative Bautoleranz der Spurweite in Weichen:	1,0	-1,0
Wälztoleranz Rillenweite:	1,0	-1,0
Fertigungstoleranz Rillenweite:	1,0	0,0
Max. Verschleißwert Radlenkerflanken (Fahr-/Leitflanke):		

Grenz-Gleisbogenhalbm. in m / Radlenker-Rillenweite in mm:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	16,0	26,000										
2	17,5	25,000										
3	20,0	24,000										
4	23,0	23,000										
5	28,0	22,000	100,0	20,000								
6	37,0	21,000	200,0	20,000								
7	50,0	21,000										
8	75,0	20,000										

**Rechenwerte am Spurranz ( " - Maße in der GGE, wenn Lage nicht eindeutig):**

	1428,000	1428,000	1416,000	1416,000
Nenn-Spurmaß s / s*:	1428,000	1428,000	1416,000	1416,000
Größtes Spurmaß s <sub>max</sub> * (beachte Beladungszustand!):	1431,000	1431,000	1419,000	1419,000
Größtes / kleinstes Leitmaß l <sub>max</sub> * / l <sub>min</sub> * (beachte Beladungszustand!):	1411,800	1407,800	1403,500	1403,500
Größe / kleinste Spurranzdicke d <sub>max</sub> * / d <sub>min</sub> *:	19,700	18,700	12,500	12,500
Größe (neu) / kleinste (verschleiß) Spurranzhöhe h <sub>max</sub> / h <sub>min</sub> :	22,0		18,000	
Breite d. Spurr.-kuppe d <sub>k,max</sub> / d <sub>k,min</sub> (unausgerundet, bezogen auf h <sub>max</sub> /h <sub>min</sub> ):	16,367	15,367	11,167	
Winkel α <sub>3</sub> / α <sub>6</sub> der Spurr.-stirn- / rückenflanke zur Horizontalen:	75,9638	80,5377	80,5377	80,5377
Abnahme der Spurranzdicke unterhalb der GGE (stirnseitig / rückenseitig):				
- d <sub>s</sub> * / d <sub>s</sub> *	2,000	1,333	0,667	0,667
Länge l <sub>s</sub> der Spurranz-Abschnittsfläche:	153,467		102,137	
Lage des Eckpunktes Hyperbel/Kuppe E <sub>3</sub> und E <sub>6</sub> (stirnseitig / rückenseitig):				
- h <sub>E3</sub> * / h <sub>E3</sub> *	8,000	8,000	4,000	4,000
- d <sub>E3</sub> * / d <sub>E3</sub> *	2,000	1,333	0,667	0,667
- x <sub>E3</sub> / x <sub>E3</sub> :	76,733	76,733	51,069	51,069
- Anlaufwinkel in E <sub>3R</sub> , α <sub>E3R</sub> / α <sub>E3R</sub> :	2,9861	1,9910	1,4958	1,4958
Radius a d. Spurr.-Schnittfläche (stirnsg. / rückenstg.), (Hyp.-bereich) f <sub>A3R</sub> / f <sub>A6R</sub> :	1.473,000	2.208,667	1.956,333	1.956,333
Verbindung g <sub>1</sub> der Mittelpunkt von f <sub>A3R</sub> (Rad 2) und f <sub>A6R</sub> (Rad 2):	4.126,418		4.338,562	
Winkel φ zwischen g <sub>1</sub> und y-Achse:	27,4160		25,9734	
Verbindung g <sub>2</sub> des Mittelpunktes von f <sub>A3R</sub> (Rad 2) und E <sub>6</sub> (Rad 1):	2.454,861		2.754,587	
Verbindung g <sub>3</sub> der Eckpunkte E <sub>2,1</sub> und E <sub>2,2</sub> :	1.900,062		1.900,033	
Winkel ρ' zwischen g <sub>3</sub> und x-Achse:	0,4634		0,3367	

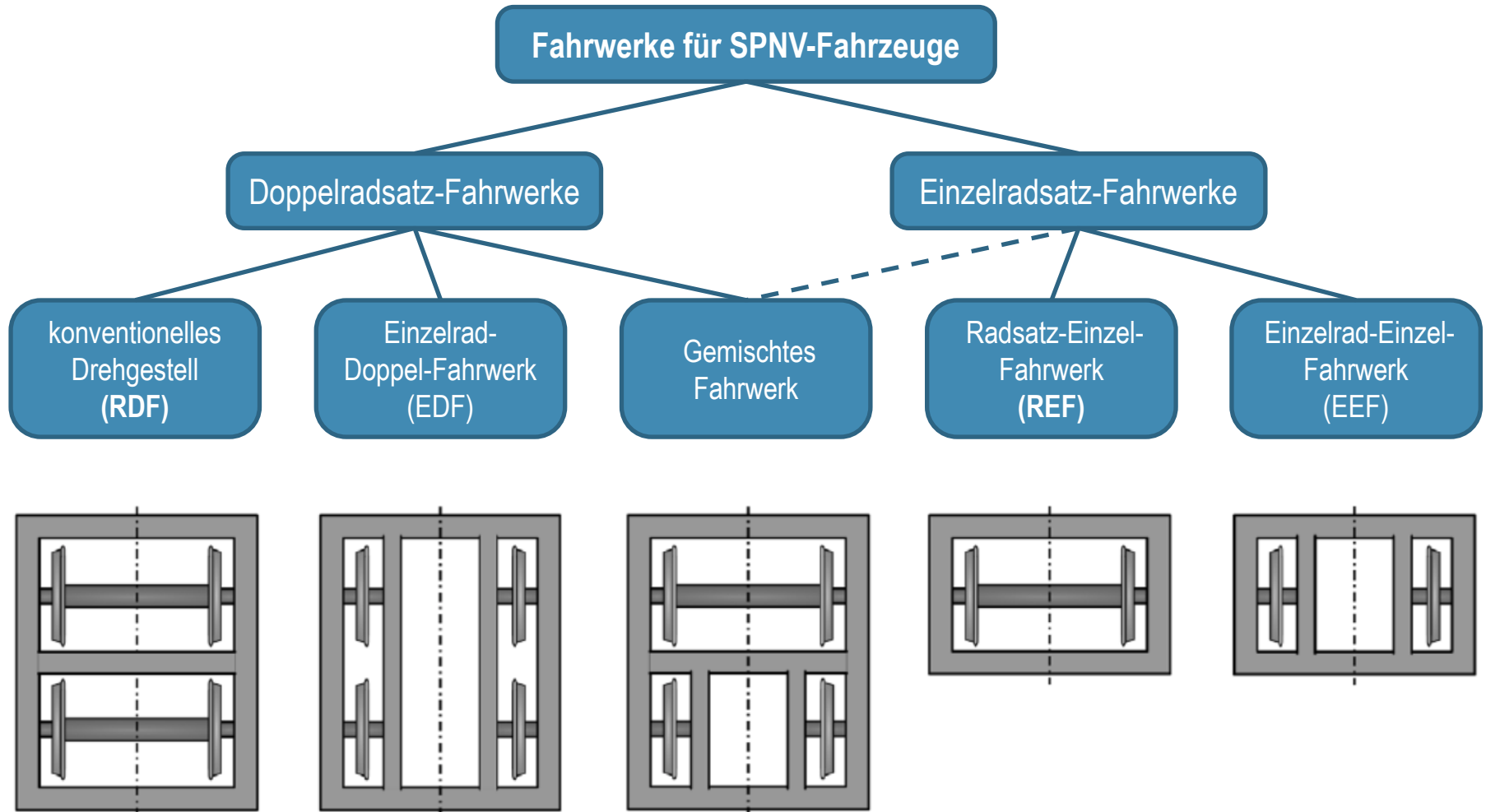
Spießgangberechnung - Eingabewerte und allgemeine Rechenwerte bei Fahrwerks-Neu- sowie bei Fahrwerks-Verschleißgrenzmaßen (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

(Quelle: Technische Regeln Eisenbahnen Anhang 3, Mai 2006)

Tabelle: R <sub>3</sub> - 1		Ausgangswerte (Rillenweite im Radlenkerbereich aus der Ermittlung der erforderlichen Rillenweite im Gleisbogen)									
		Fahrzeugtyp: Musterfzg. 1									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grenz-Gleisbogenhalbm. R <sub>3</sub> in m	16,0	17,5	20,0	23,0	28,0	37,0	50,0	75,0	100,0	200,0	
Erf. Rad-Rillens- + Herst.-Toll in mm	27,000	26,000	25,000	24,000	23,000	22,000	22,000	21,000	21,000	21,000	
Tabelle: R <sub>3</sub> - 2		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene für die Räder 1 bis 3, sofern sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
		Grenzanzlaufwinkel α <sub>3</sub> (Hyp.-Kuppe) an Spurranzflanke / Fahrkuppe: 2,9861 °									
		Grenzanzlaufwinkel α <sub>6</sub> (Hyp.-Kuppe) an Spurranzflanke / Leitflanke: 1,4958 °									
Tabelle: R <sub>3</sub> - 3		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 1 im Eckpunkt, wenn sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(α <sub>1</sub> + α <sub>2</sub> ):		7,913	6,499	5,671	4,937	4,352					
β <sub>1</sub> :		122,4578	122,8056	123,2570	123,6956	124,1520					
x-Koordinate von (R <sub>3</sub> *f <sub>A3</sub> ):		36,3673	36,3673	36,3673	36,3673	36,3673					
y-Koordinate von (R <sub>3</sub> *f <sub>A3</sub> ):		3,9095	3,5617	3,1103	2,6077	2,1149					
vorläufiger Anf.-winkel α <sub>1</sub> an Rad 1:		2,9281	2,5658	2,2360	1,9393						
y-Koordinate von (R <sub>3</sub> *f <sub>A3</sub> ):		18,231,667	20,734,962	23,737,412	28,740,73						
vorläufiger Anf.-winkel α <sub>2</sub> an Rad 2:		967,475	970,854	973,157	978,567						
x-Koordinate von (R <sub>3</sub> *f <sub>A3</sub> ):		3,3124	2,8198	2,5075	2,2685						
Gleisbogenhalbmesser R <sub>3</sub> :		20,716,988 23,716,211 28,715,81									
endgültiger Anf.-winkel α <sub>1</sub> an Rad 1:		3,1103	2,6077	2,2149							
endgültiger Anf.-winkel α <sub>2</sub> an Rad 2:		2,5658	2,2360	1,9393							
endgültiger Anf.-winkel α <sub>3</sub> an Rad 3:		2,9818	2,5075	2,2058							
Tabelle: R <sub>3</sub> - 4		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene an Rad 3 im Eckpunkt, wenn sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Ermittlung mittels Excel-Zelle		2									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(α <sub>1</sub> + α <sub>2</sub> ) (in °):		3,5617									
β <sub>2</sub> :		85,5298									
Anfahrwinkel α <sub>1</sub> an Rad 1:		3,9098									
Anfahrwinkel α <sub>2</sub> an Rad 2:		3,2113									
x-Koordinate von R <sub>3</sub> :		1,043,890									
y-Koordinate von R <sub>3</sub> :		16,685,002									
Gleisbogenhalbmesser R <sub>3</sub> :		16,717,426									
Anfahrwinkel α <sub>3</sub> an Rad 3:		3,5800									
Tabelle: R <sub>3</sub> - 5		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene an den Rädern 1 und 2, wenn alle Berührungspunkte im Eckpunkt liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Ermittlung mittels Excel-Zelle		1									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(α <sub>1</sub> + α <sub>2</sub> ) (in °):		7,9211									
β <sub>2</sub> :		85,5298									
Anfahrwinkel α <sub>1</sub> an Rad 1:		3,9098									
Anfahrwinkel α <sub>2</sub> an Rad 2:		3,2113									
x-Koordinate von R <sub>3</sub> :		1,043,890									
y-Koordinate von R <sub>3</sub> :		16,685,002									
Gleisbogenhalbmesser R <sub>3</sub> :		16,717,426									
Anfahrwinkel α <sub>3</sub> an Rad 3:		3,5800									
Tabelle: R <sub>3</sub> - 6		Ermittlung des wirksamen Leitmaßes über Herzstück (Zusammenfassung aus den vorstehenden Tabellen)									
Ermittlung mittels Excel-Zelle		1									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gleisbogenhalbm. R <sub>3</sub> an Rad 2 (Vorgabe):		15,282,50	16,782,50	19,282,50	22,282,50	27,282,50					
Anfahrwinkel α <sub>3</sub> an Rad 2:		3,2113	2,9281	2,5658	2,2360	1,9393					
Gleisbogenhalbm. R <sub>1</sub> an Rad 1:		15,309,50	16,608,50	19,307,50	22,306,50	27,305,50					
Anfahrwinkel α <sub>1</sub> an Rad 1:		3,9098	3,5617	3,1103	2,6077	2,1149					
Gleisbogenhalbm. R <sub>3</sub> an Rad 3:		16,717,433	18,217,432	20,716,70	23,716,21	28,715,58					
Anfahrwinkel α <sub>3</sub> an Rad 3:		3,5800	3,2800	2,9818	2,6078	2,2686					
wirksames größtes Leitmaß l <sub>max</sub> → L <sub>max</sub> :		1.408,126	1.408,619	1.409,198	1.409,711	1.410,131					
markierter Bereich entspricht dem Rechenbeispiel!											
Tabelle: R <sub>4</sub> - 1		Ausgangswerte (Rillenweite im Radlenkerbereich aus der Ermittlung der erforderlichen Rillenweite im Gleisbogen)									
		Fahrzeugtyp: Musterfzg. 1									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grenz-Gleisbogenhalbm. R <sub>4</sub> in m	16,0	17,5	20,0	23,0	28,0	37,0	50,0	75,0	100,0	200,0	
Erf. Rad-Rillens- + Herst.-Toll in mm	27,000	26,000	25,000	24,000	23,000	22,000	22,000	21,000	21,000	21,000	
Tabelle: R <sub>4</sub> - 2		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene für die Räder 1, 2 und 4, sofern sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
		Grenzanzlaufwinkel α <sub>4</sub> (Hyp.-Kuppe) an Spurranzflanke / Fahrkuppe: 1,4958 °									
		Grenzanzlaufwinkel α <sub>6</sub> (Hyp.-Kuppe) an Spurranzflanke / Leitflanke: 1,4958 °									
Tabelle: R <sub>4</sub> - 3		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 1 im Eckpunkt und der Berührungspunkte an den Rädern 2 und 4, wenn sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(α <sub>1</sub> + α <sub>2</sub> ):		6,5083	6,3473	5,994	4,887	3,976	3,0161				
β <sub>1</sub> :		130,8870	131,2289	131,6721	132,0776	132,5268	133,0780				
x-Koordinate von (R <sub>4</sub> *f <sub>A4</sub> ):		44,9034	44,9034	44,9034	44,9034	44,9034	44,9034				
y-Koordinate von (R <sub>4</sub> *f <sub>A4</sub> ):		4,0158	3,6744	3,2313	2,8258	2,3508	1,8254				
vorläufiger Anf.-winkel α <sub>1</sub> an Rad 1:											
y-Koordinate von (R <sub>4</sub> *f <sub>A4</sub> ):											
vorläufiger Anf.-winkel α <sub>2</sub> an Rad 2:											
x-Koordinate von (R <sub>4</sub> *f <sub>A4</sub> ):											
y-Koordinate von (R <sub>4</sub> *f <sub>A4</sub> ):											
Gleisbogenhalbmesser R <sub>4</sub> :											
endgültiger Anf.-winkel α <sub>1</sub> an Rad 1:											
endgültiger Anf.-winkel α <sub>2</sub> an Rad 2:											
endgültiger Anf.-winkel α <sub>3</sub> an Rad 4:											
Tabelle: R <sub>4</sub> - 4		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 4 im Eckpunkt, wenn die Berührungspunkte an Rad 1 im Eckpunkt und an Rad 2 im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Ermittlung mittels Excel-Zelle		1									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(α <sub>1</sub> + α <sub>2</sub> ) (in °):		3,5617									
β <sub>2</sub> :		85,5298									
Anfahrwinkel α <sub>1</sub> an Rad 1:		3,9098									
Anfahrwinkel α <sub>2</sub> an Rad 2:		3,2113									
x-Koordinate von R <sub>4</sub> :		1,043,890									
y-Koordinate von R <sub>4</sub> :		16,685,002									
Gleisbogenhalbmesser R <sub>4</sub> :		16,717,426									
Anfahrwinkel α <sub>3</sub> an Rad 3:		3,5800									

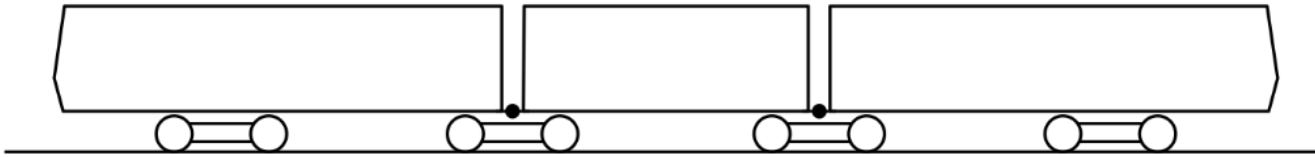
# Folie Einflussfaktoren auf die Fahrwerksgestaltung



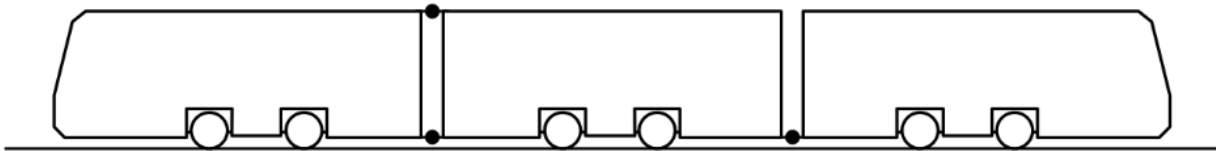


# Folie Grundsätzliche Fahrzeugkonzepte für SPNV-Fahrzeuge

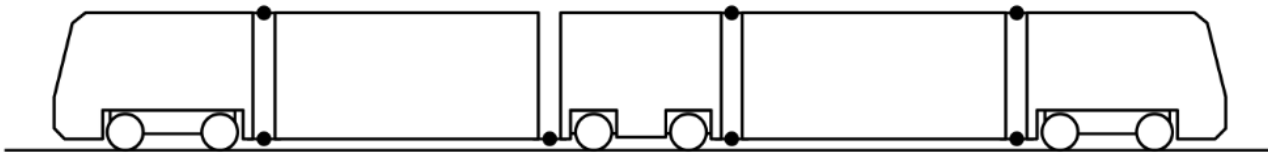
---



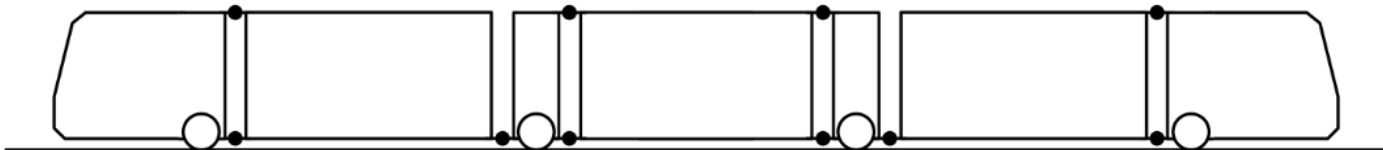
Glieder-, Brückenfahrzeug



Einzel-Gelenkfahrzeug



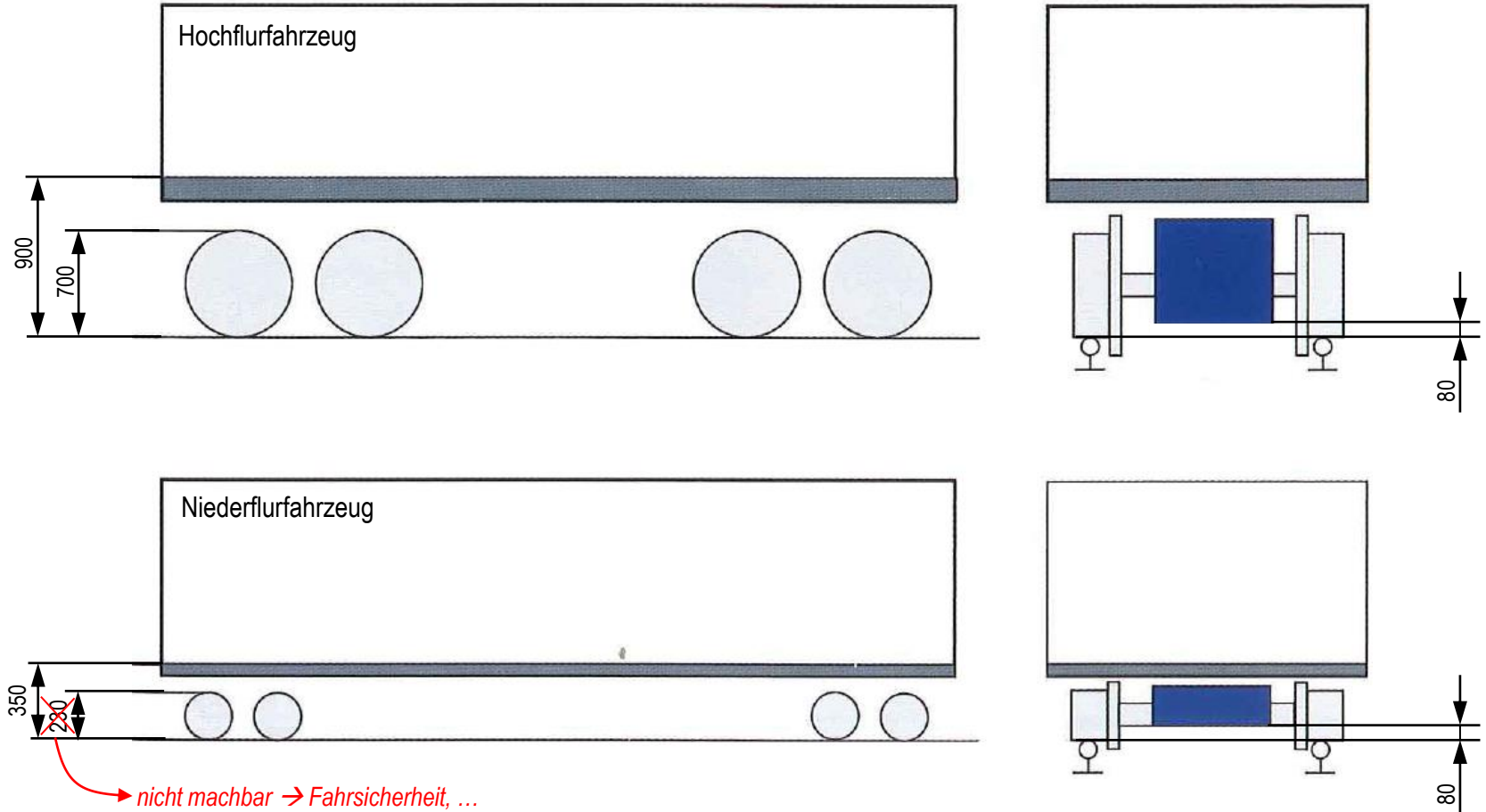
Multi-Gelenkfahrzeug



Multi-Gelenkfahrzeug

(Quelle: nach Schindler)

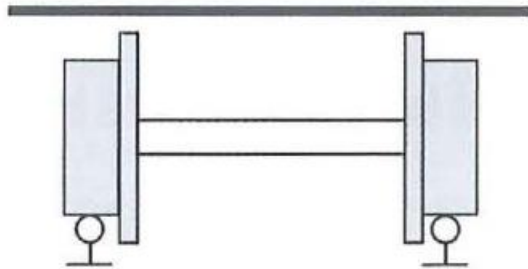
# Folie Anforderungen an Baugröße von Niederflurfahrwerken



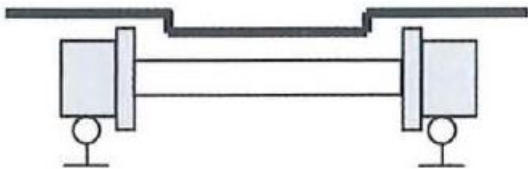
(Quelle: nach Schindler: Grundlagen der Niederflurtechnik, Der Nahverkehr 2007-04)

# Folie Prinzipielle Lösungen für Niederflurfahrwerke (I)

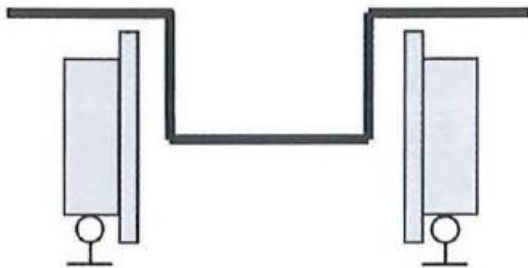
## Lauffahrwerk



konventionelles Drehgestell

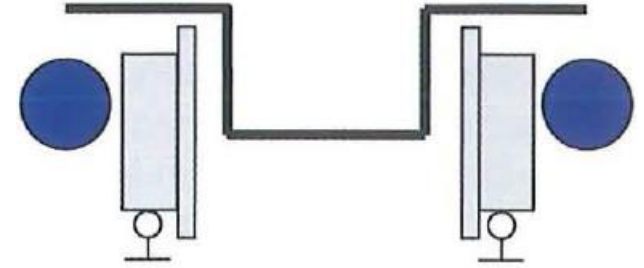
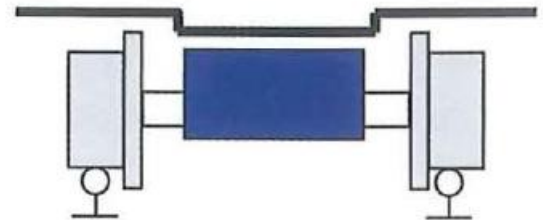
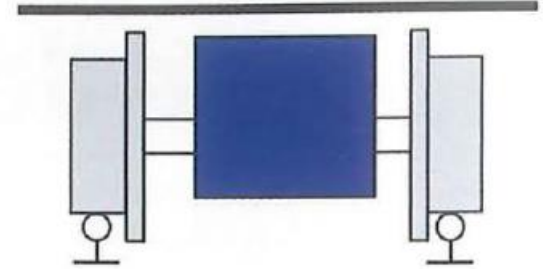


konventionelles Drehgestell  
mit kleinen Rädern



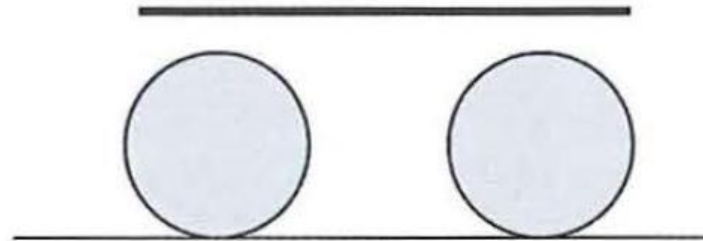
Fahrwerke ohne Radsatzwelle  
& mit Verlegung von Baugruppen

## Triebfahrwerk

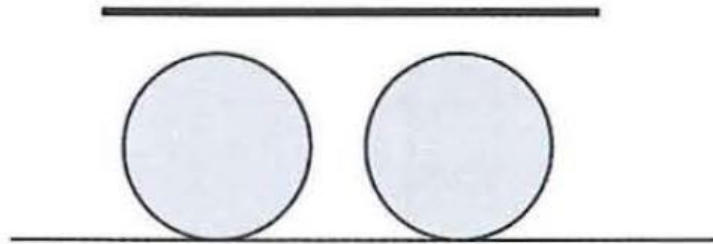


(Quelle: nach Schindler: Grundlagen der Niederflurtechnik, Der Nahverkehr 2007-04)

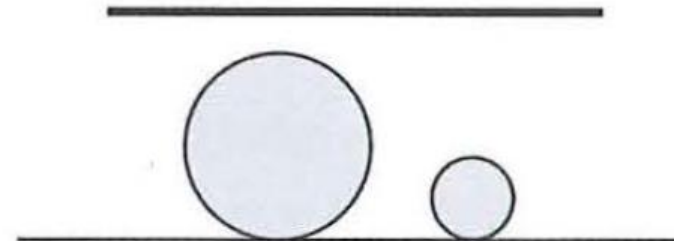
# Folie Prinzipielle Lösungen für Niederflurfahrwerke (II) - Längsausdehnung



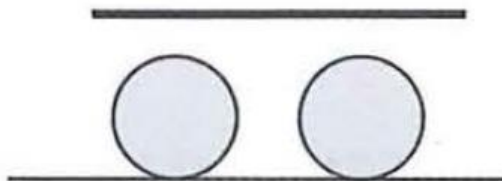
konventionelles Doppelfahrwerk



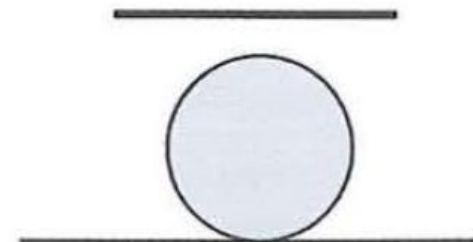
konventionelles Doppelfahrwerk  
mit reduziertem Radabstand



Fahrwerk mit normalgroßem Tragradpaar  
und kleinem Führungsradaar



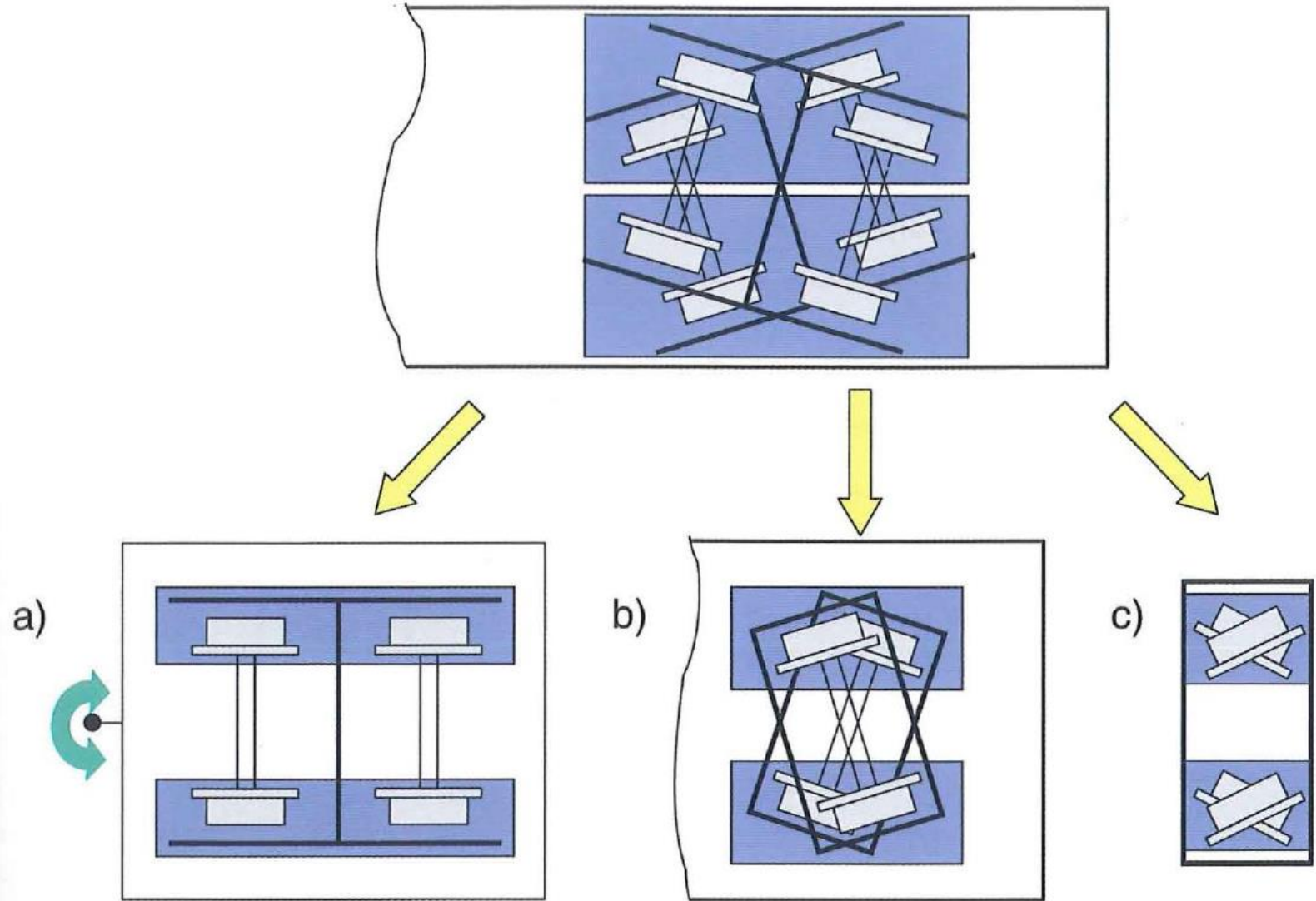
konventionelles Doppelfahrwerk  
mit reduziertem Radabstand und kleinen Rädern



Einzelfahrwerk

(Quelle: nach Schindler: Grundlagen der Niederflurtechnik, Der Nahverkehr 2007-04)

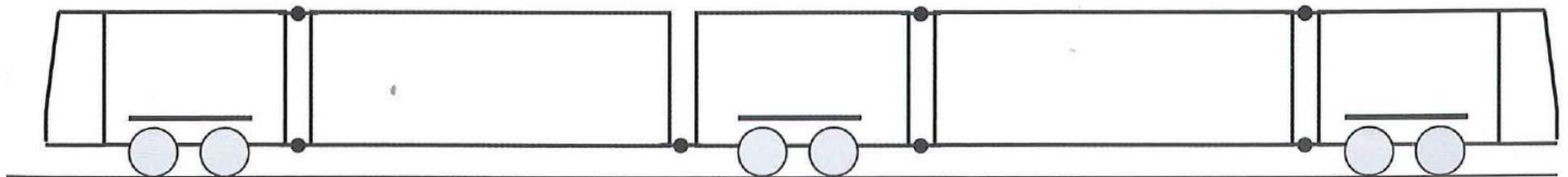
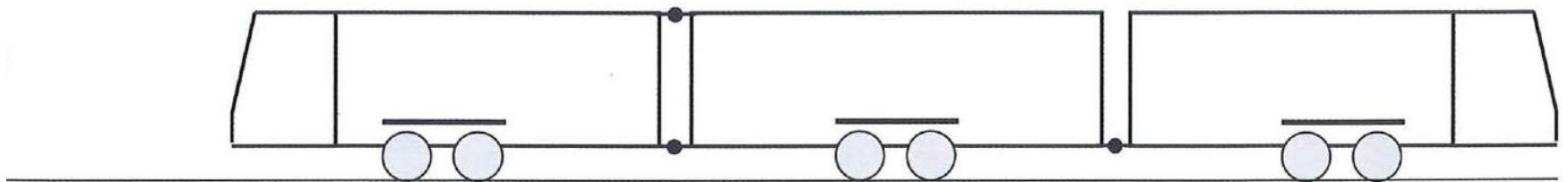
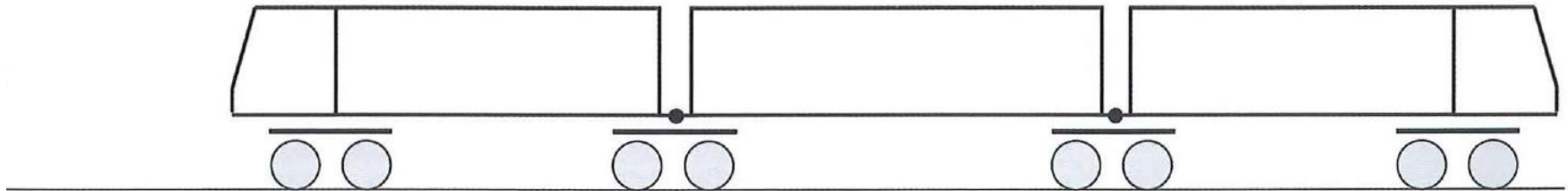
# Folie Prinzipielle Lösungen für Niederflurfahrwerke (III) - Fahrwerksauslenkungen



(Quelle: Schindler: Grundlagen der Niederflurtechnik, Der Nahverkehr 2007-04)

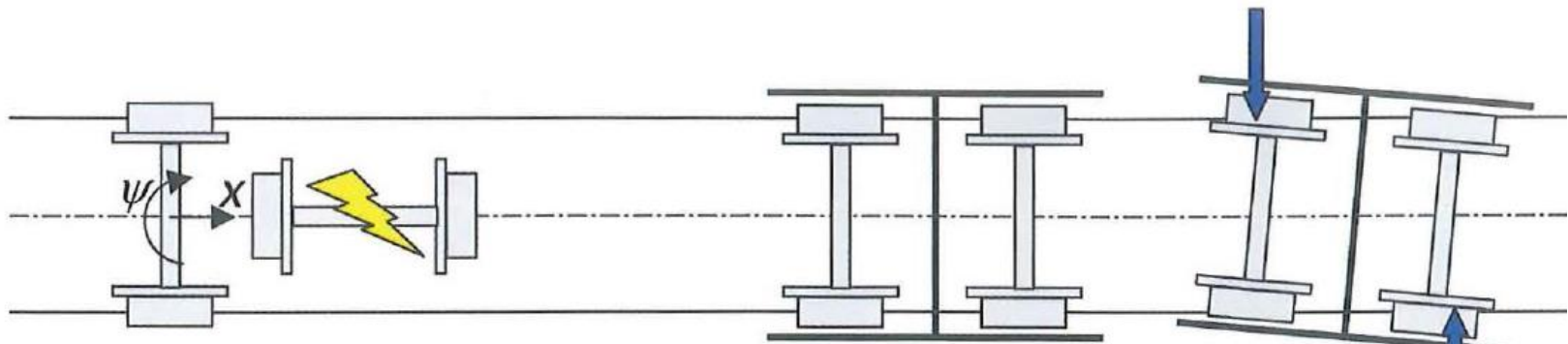
# Folie Prinzipielle Lösungen für Niederflurfahrwerke (IV) - Fahrwerkanzahl

---



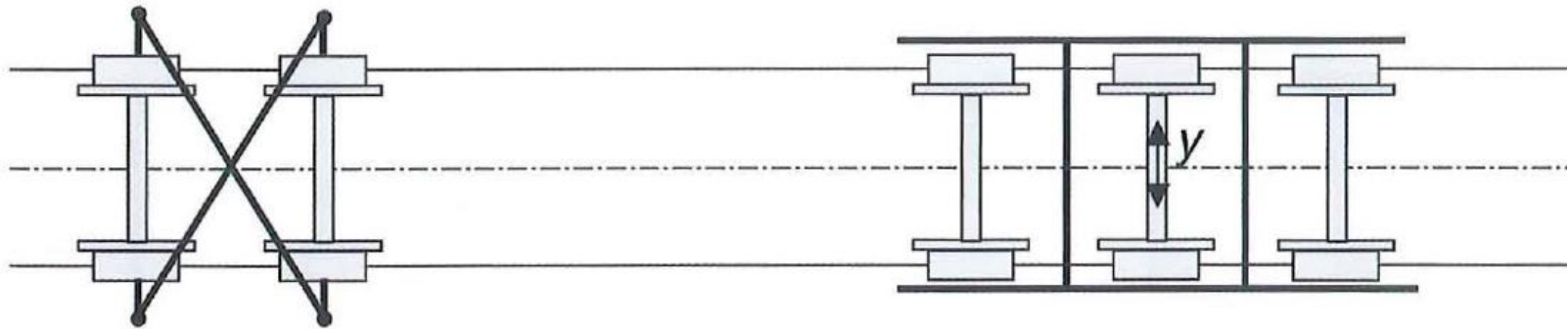
(Quelle: nach Schindler: Grundlagen der Niederflurtechnik, Der Nahverkehr 2007-04)

# Folie Grundregeln Fahrzeug-Fahrwerk-Konfiguration (I) – Fahrwerk



a) unterbestimmt

b) eindeutig bestimmt

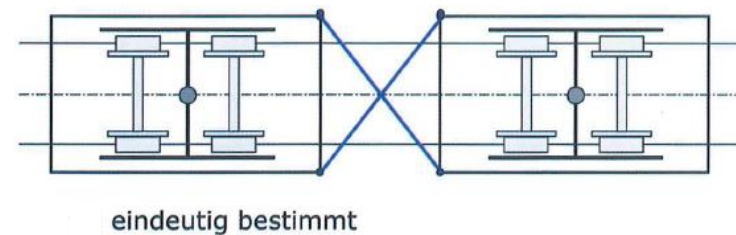
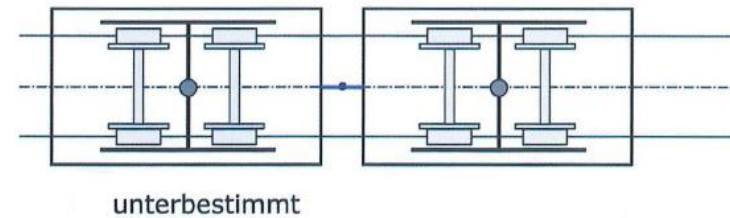
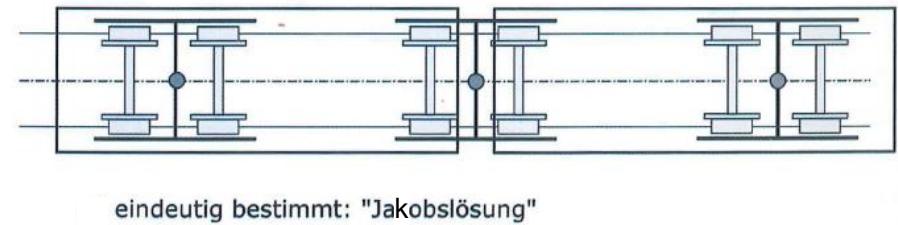
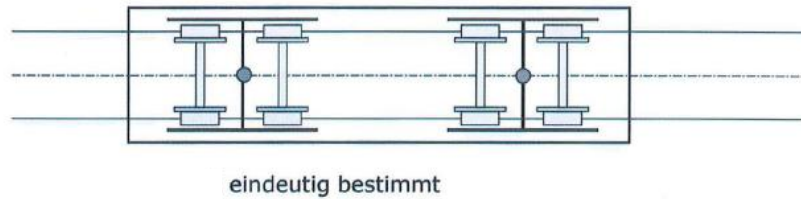
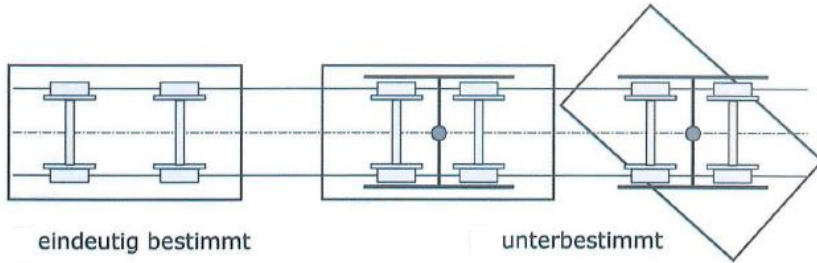


c) eindeutig bestimmt

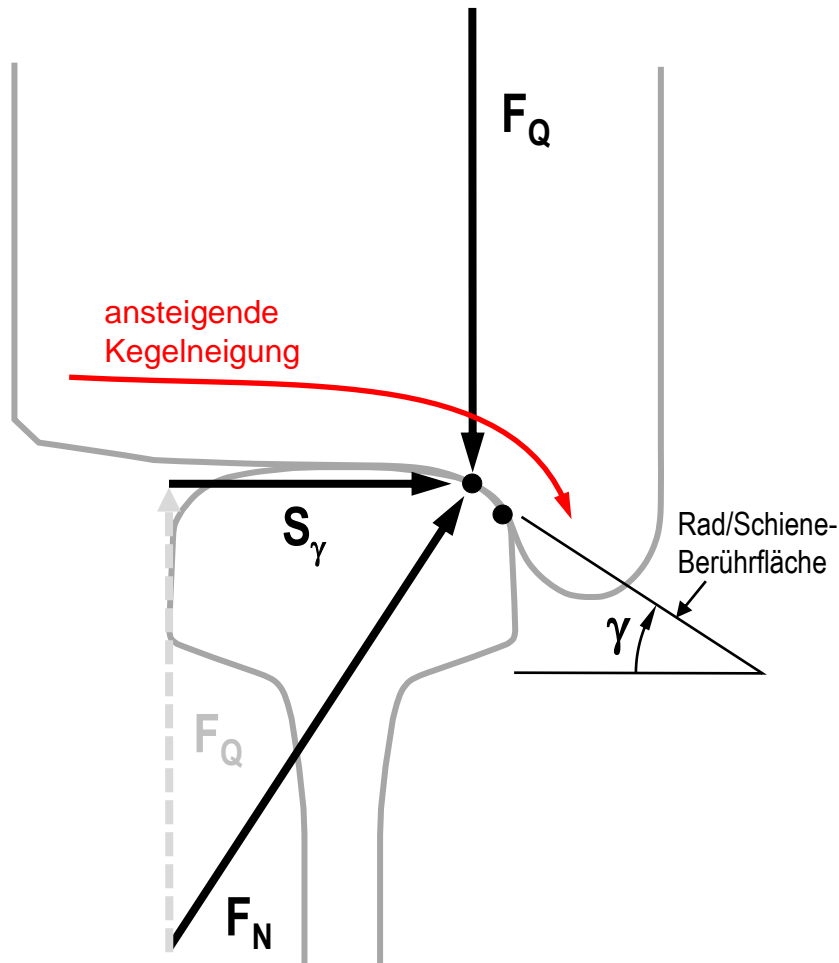
d) überbestimmt

(Quelle: Schindler: Grundlagen der Niederflurtechnik, Der Nahverkehr 2007-04)

# Folie Grundregeln Fahrzeug-Fahrwerk-Konfiguration (I) – Fahrwerk & Wagenkasten



(Quelle: nach Schindler: Grundlagen der Niederflurtechnik, Der Nahverkehr 2007-04)



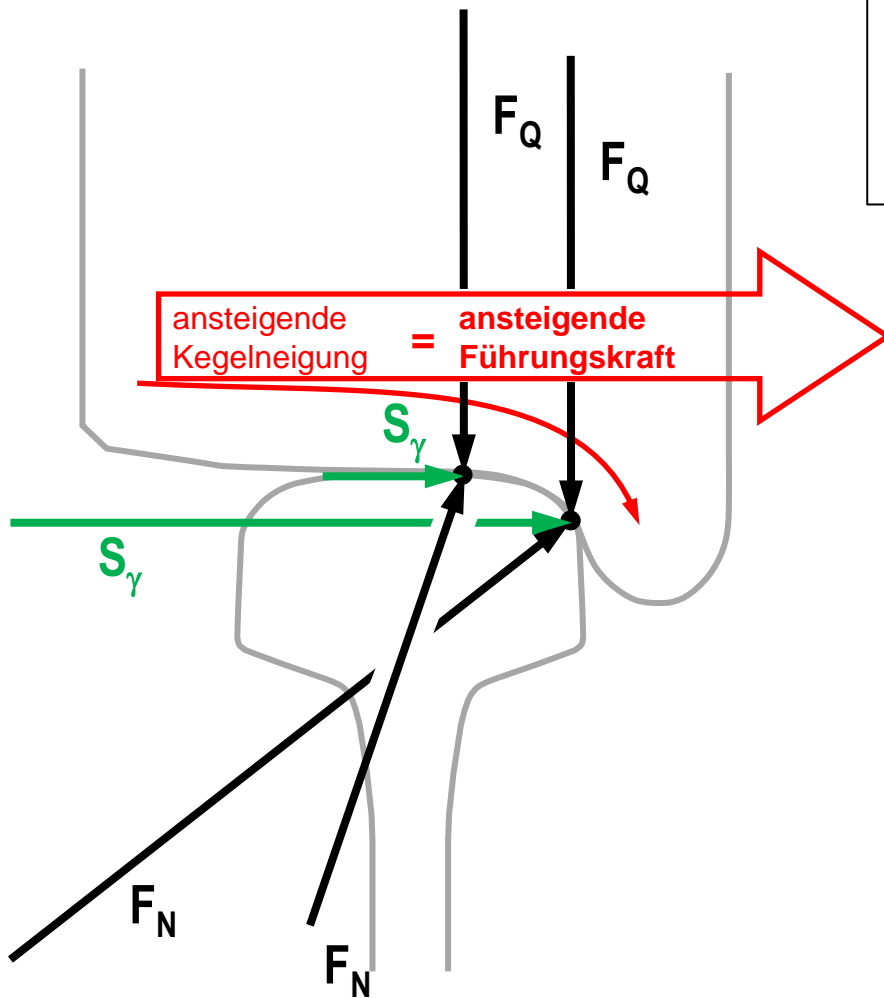
- $F_Q$  – Radkraft
- $\gamma$  – Neigungswinkel
- $F_N$  – Normalkraft
- $S_\gamma$  – Profelseitenkraft

$$S_\gamma = \tan \gamma \cdot F_Q$$
$$F_N = F_Q / \cos \gamma$$

Tangentialkräfte nicht dargestellt

(Quelle: nach Frederich: Aspekte zur Spurführung, ZEV-Glas. Ann. 114(1990)1/2)

Antreiben & Bremsen!!



Gleiten des Rades

- Kraftschlusskräfte
- Kraftschlussverlustleistung
- Spurführungswiderstand  
(Reibung = Wärme & Verschleiß / Rollgeräusch)



Gute Spurführung

- $F_Q$  – Radkraft
- $\gamma$  – Neigungswinkel
- $F_N$  – Normalkraft
- $S_\gamma$  – Profelseitenkraft



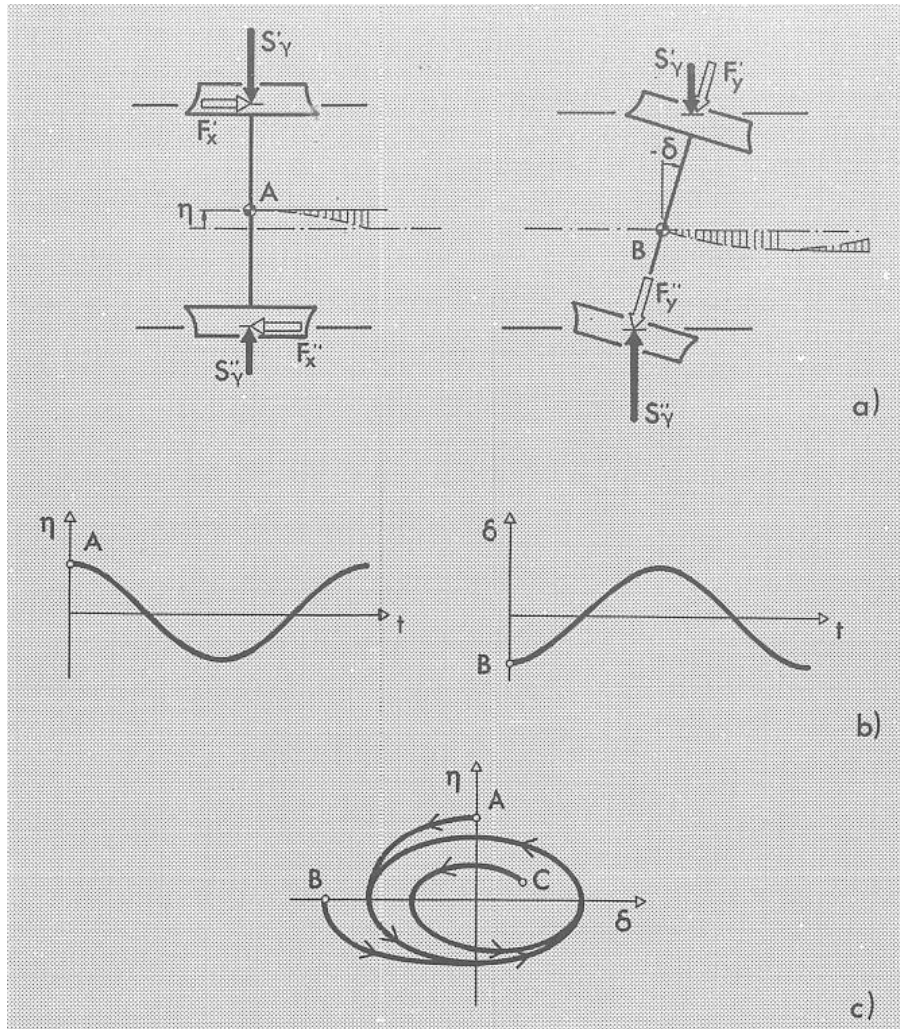
$$S_\gamma = \tan \gamma \cdot F_Q$$

$$F_N = F_Q / \cos \gamma$$

Tangentialkräfte nicht dargestellt

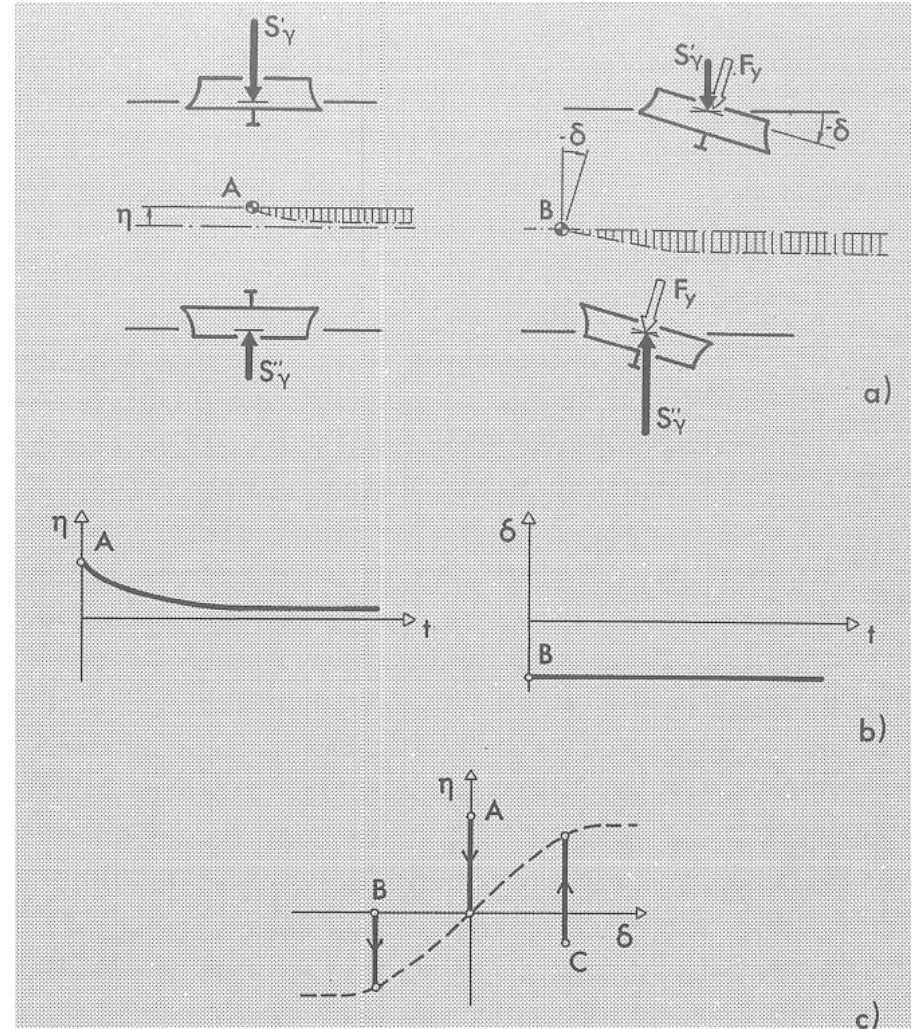
(Quelle: nach Frederich: Aspekte zur Spurführung, ZEV-Glas. Ann. 114(1990)1/2)

# Folie Spurführungsprinzipien (I)



Spurführungsprinzip Radsatz

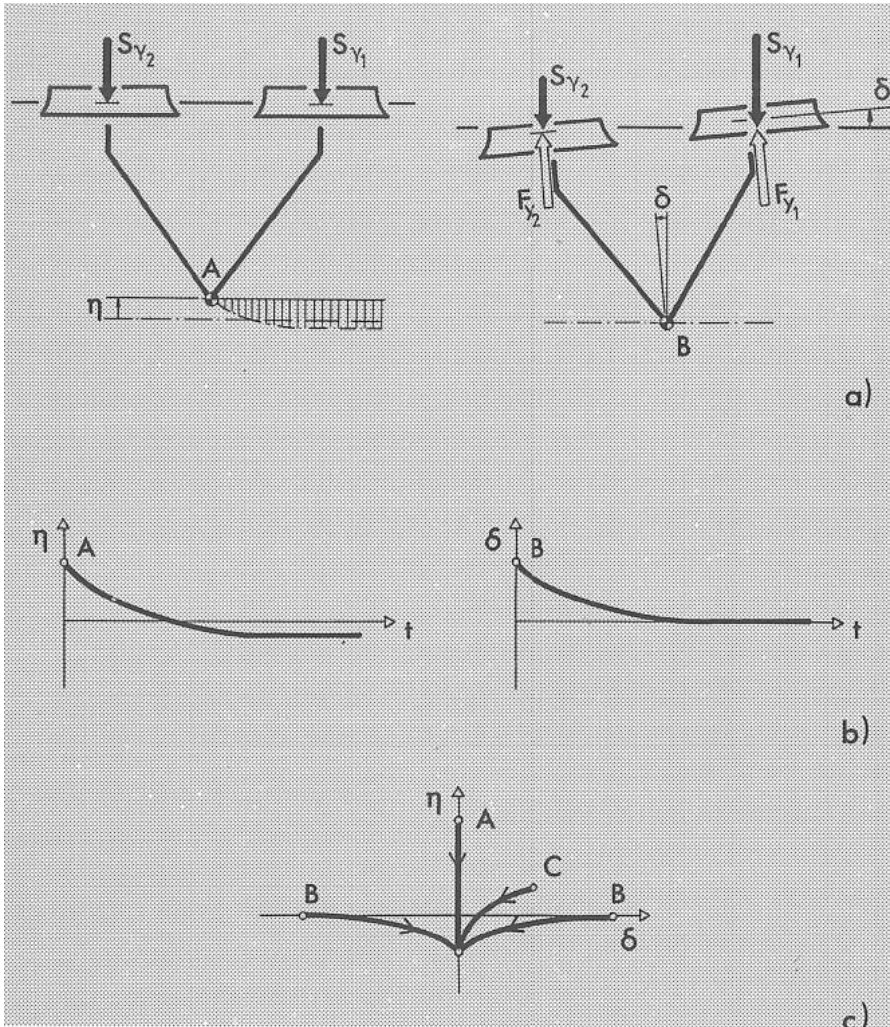
(Quelle: Frederich: Aspekte zur Spurführung, ZEV-Glas. Ann. 114(1990)1/2)



Spurführungsprinzip Losradpaar

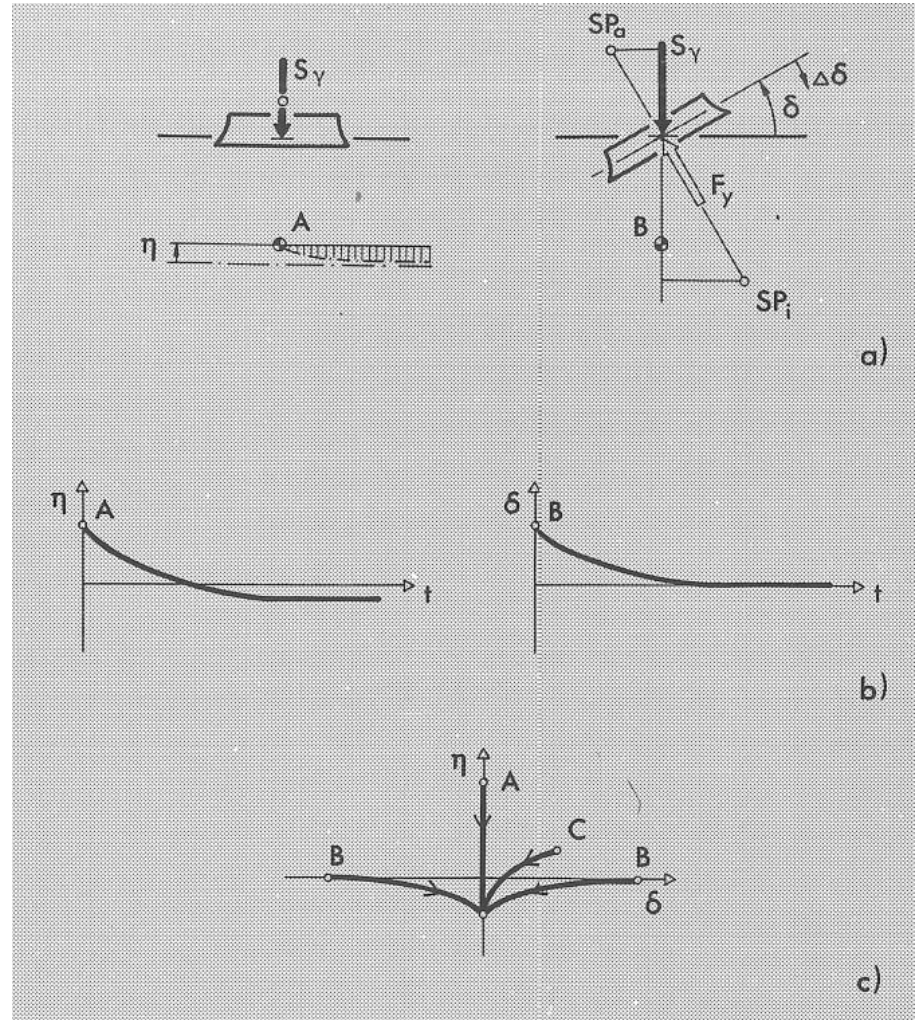
a) Stellungbilder, b) Zeit-Diagramme, c) Phasen-Diagramm

# Folie Spurführungsprinzipien (II)



Spurführungsprinzip Radblock

(Quelle: Frederich: Aspekte zur Spurführung, ZEV-Glas. Ann. 114(1990)1/2)



Spurführungsprinzip selbstregelndes Einzelrad

a) Stellungbilder, b) Zeit-Diagramme, c) Phasen-Diagramm

## **Spurführung = Fähigkeit, der Richtung des Gleises zu folgen**

### **Gute Spurführung:**

- geringer Verschleiß bei Fahrt im geraden Gleis und im Gleisbogen
- guter Komfort im Wagenkasten
- keine Unterstützung durch Kräfte / Momente vom Wagenkasten auf Fahrwerk
- keine Rückwirkungen vom Fahrwerk auf Wagenkasten



### **Ideale Spurführung:**

- nur Formschlusskräfte zur Einhaltung der Richtung (kein Verschleiß)
- Kraftschlusskräfte nur zum Antreiben und Bremsen
- keine Führungskräfte zwischen Wagenkasten und Fahrwerk

## Spurführung

## zu folgen

- geringer Verschleiß
- guter Komfort im Wagenkasten
- keine Unterstützung
- keine Rückwirkung



### **Radsatz:**

- Ideallage-Korrektur als ständige, gekoppelte Bewegung
- ausgelenkter Radsatz kommt nicht mehr zur Ruhe → Wellenlauf
- Schnellfahren schwierig
- einfaches Bauelement, aber schwere und ungünstig beanspruchte Radsatzwelle

gen



### **Losradpaar:**

- kein vollwertiges Spurführungsprinzip

n auf Fahrwerk



### **Radblock:**

- nahezu ideale Lage-Korrektur
- gutes Spurführungsverhalten
- zweite gegenüberliegende Einheit

**ideale Spurführung.**

- nur Formschluss
- Kraftschlusskräfte
- keine Führung

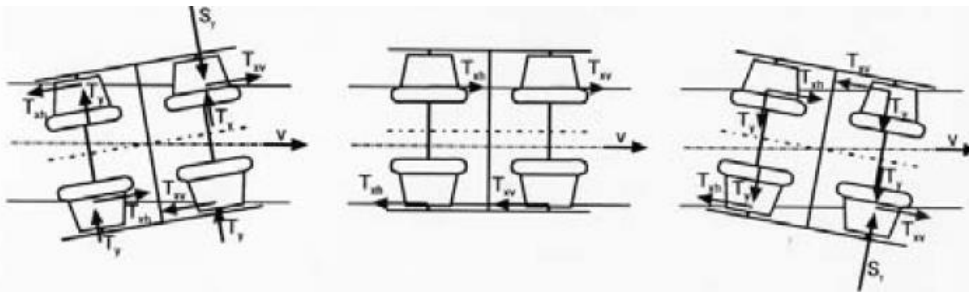


### **Selbstregelndes Einzelrad:**

- Kraftschlusskräfte bei Ideallage-Korrektur nahezu ausgeschlossen
- nahezu ideales Spurführungsverhalten bei nicht angetriebenen Rädern
- Kopplung notwendig zum Ausschluss Wendebewegung

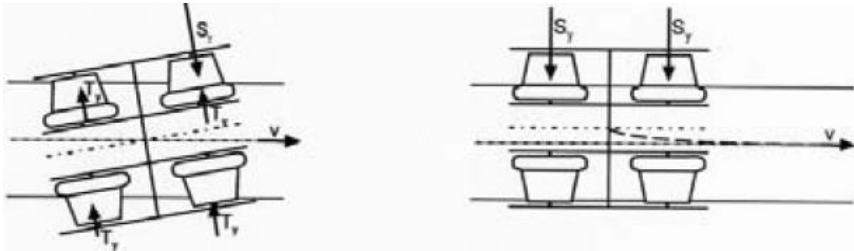
hleiß)

# Folie Anwendung Spurführungsprinzipien im Drehgestell



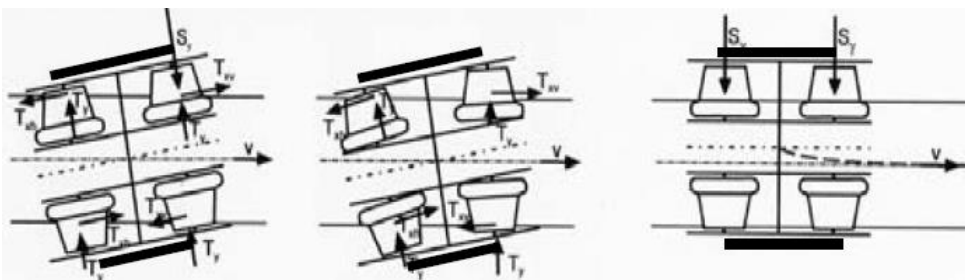
## Drehgestell mit konventionellen Radsätzen:

- Wellenlauf Radsatz mit
    - Selbstzentrierung in der Geraden
    - „Einlenken“ im Gleisbogen u. gleichmäßigem Verschleiß
- **Eignung als Triebfahrwerk**



## Drehgestell mit Losrädern:

- Gute Bogengängigkeit
  - geringer Verschleiß, aber einseitiger Spurkranzanlauf
- **Eignung als Lauffahrwerk**



## Drehgestell mit Losrädern mit Längskopplung (Radblock):

- Verringerung Nachteil Losrad
  - guter Kompromiss zwischen Radsatz und Losrad
- **Eignung als Trieb- und Lauffahrwerk**

(Quelle: Schindler: Spurführung und Fahrdynamik von Niederflurfahrzeugen)