

Beispiel

**zur Ermittlung der Zahlenwerte für die Quermaß-Tabelle,
die Darstellung der Quermaße
sowie der Nachweis des Klaffmaßes an der Zungenspitze
für ein fiktives Fahrwerk**

Bearbeitungsstand: März 2004

Ausgabe: Mai 2006

Inhaltsübersicht

	Seite
Allgemeine Vorbemerkungen	5
Quermaß-Nachweis	9
1 Lage der GGE	9
2 Einzelwerte	12
2.1 Radsatz	12
2.2 Streckengleis.....	13
2.3 Herzstückbereich.....	15
2.3.1 Einfaches Herzstück	15
2.3.2 Doppertes Herzstück	15
3 Einzelnachweise	17
3.1 Streckengleis.....	17
3.2 Weichen und Kreuzungen im Bereich Einfacher Herzstücke/Radlenker	18
3.3 Weichen und Kreuzungen im Bereich Doppelter Herzstücke.....	18
Zusätzlicher Platzbedarf der Spurkränze im Gleisbogen.....	19
1 Ausgangswerte	19
2 Detailliertes Berechnungsverfahren	21
2.1 Einfache Herzstücke einschl. Radlenkerbereich	21
2.1.1 Rillenweiten im Radlenkerbereich	21
2.1.2 Leitweiten über Herzst.-rille bzw. über die Rille im Radlenkerbereich.	36
2.1.3 Spurweiten im Herzstückbereich.....	56
2.1.4 Herzstück-Rillenweiten.....	57
2.2 Doppelte Herzstücke	67
3 Vereinfachtes Berechnungsverfahren	72
3.1 Einfache Herzstücke einschl. Radlenkerbereich	72
3.1.1 Rillenweiten im Radlenkerbereich	72
3.1.2 Leitweiten über Herzst.-rille bzw. über die Rille im Radlenkerbereich.	85
3.1.3 Spurweiten im Herzstückbereich.....	99
3.1.4 Herzstück-Rillenweiten.....	100

	Seite
3.2 Doppelte Herzstücke	108
3.3 Vergleich detailliertes Berechnungsverfahren - vereinfachtes Berechnungsverfahren	113
Quermaßtabelle - Quermaßdarstellung	114
Nachweis der Mindest-Radaufstandsbreite bei Tiefrillen-Herzstücken.....	115
Nachweis des erforderlichen Klaffmaßes.....	120

Allgemeine Vorbemerkungen

Am Beispiel eines Fahrwerks mit 2 starren Radsätzen bzw. entsprechend angeordneten Einzelrädern mit starren Achsen wird der Quermaßnachweis geführt, es werden die Neu- und Verschleißgrenzmaße des Rades / Radsatzes dargestellt, es wird eine Quermaß-Tabelle für Streckengleise, Weichen und Kreuzungen aufgestellt und es werden für ein angenommenes Klaffmaß die Vorgaben für die Weichenkonstruktion bzw. -instandhaltung ermittelt, um ein Aufsteigen auf die im zulässigen Bereich maximal klaffende Zungenspitze zu verhindern.

Neben den Werten für das gerade Gleis wird auch der erhöhte Platzbedarf des Spurkranzes / Radsatzes im Gleisbogen für einige repräsentative Gleisbogenhalbmesser beispielhaft nach der analytischen Methode des Anhangs 1 ermittelt (Spießgangstellung des Fahrwerks, Beladungszustand des Fahrzeugs sowie Querelastizität der Radreifen sind zu berücksichtigen).

Die größte erforderliche Rillenweite im Radlenkerbereich ergibt sich aus der größten Breite des Spurkranzes im Neuzustand, im Einzelfall muß jedoch geprüft werden, ob bei verschleißendem Laufkreisdurchmesser auch ein Verschleiß der Spurkranzrückflanke bzw. bei überhöhten Radlenkern des Radrückens dahingehend auftritt, dass keine Verkleinerung des Leitkreisabstandes entsteht. Bei der Beispielberechnung wird dieser Fall vorausgesetzt.

In der Regel kann von folgendem ausgegangen werden (wird in der Beispielberechnung angenommen):

Die kleinste neue Spurkranzdicke (Fertigungstoleranz berücksichtigen!) führt zur größtmöglichen Spießgangstellung des neuen Fahrwerks in der Radlenkerrippe, über das größte Leitmaß im Neuzustand (Beladungszustand!) erhält man den größten berührenden Gleisbogenhalbmesser an der Stirnseite von Rad 3.

Die kleinste verschlissene Spurkranzdicke führt zur größtmöglichen Spießgangstellung des verschlissenen Fahrwerks in der Radlenkerrippe, über das kleinste Leitmaß im Verschleißgrenzzustand (Beladungszustand!) erhält man den kleinsten berührenden Gleisbogenhalbmesser an der Rückenseite von Rad 4.

Außerdem muss festgelegt werden, ob bei der Neubemessung der Herzstückrille der Verschleißgrenzzustand der Rillenweite im Radlenkerbereich zu berücksichtigen ist oder ob die Herzstückrille nach dem Neumaß der Rillenweite im Radlenkerbereich bemessen wird und mit dem allmählichen Verschleiß der Fahrflanke im Radlenkerbereich sowie der Radlenker(leit)flanke parallel ein allmählicher Verschleiß der Herzstück-Rillenflanken akzeptiert wird bis zum Erreichen der bei Tiefrillen-Herzstücken zulässigen Mindestaufstandsbreite. Entsprechend Anhang 1, Abschnitt 1.1.5.2, wird die Beispielberechnung nach 1.1.4.1 und 1.1.4.3 vorgenommen.

Die bei den einzelnen Berechnungen angegebenen Querbezüge auf Formeln beziehen sich auf folgende Formel-Nummern:

Nr. < 200	detailliertes Berechnungsverfahren des Anhangs 1
Nr. >200 bis <300	vereinfachtes Berechnungsverfahren des Anhangs 1
Nr. > 300	Anhang 2

Für die Beispielberechnung wurde ein Radprofil nach Bild 3.1 angenommen, zusätzlich wurden folgende Maße und Werte für die Fahrwerke von 2 Musterfahrzeugen gewählt:

Achsabstand a_F der Radachsen des Fahrwerks vom Musterfzg. 1	1.900 mm
Achsabstand a_F der Radachsen des Fahrwerks vom Musterfzg. 2	2.000 mm
Messkreisdurchm. d_M der Räder des Fahrwerks vom Musterfzg. 1	700 mm
Messkreisdurchm. d_M der Räder des Fahrwerks vom Musterfzg. 2	600 mm
Max. Querverschiebbarkeit Q des elastisch gelagerten Radreifens	± 2 mm
Innenlagerung der Radachse, maximale Spurmaßveränderung infolge Durchbiegung bei Vollast	+ 1 mm

Gewählte Maße und Werte für die Gleisanlage:

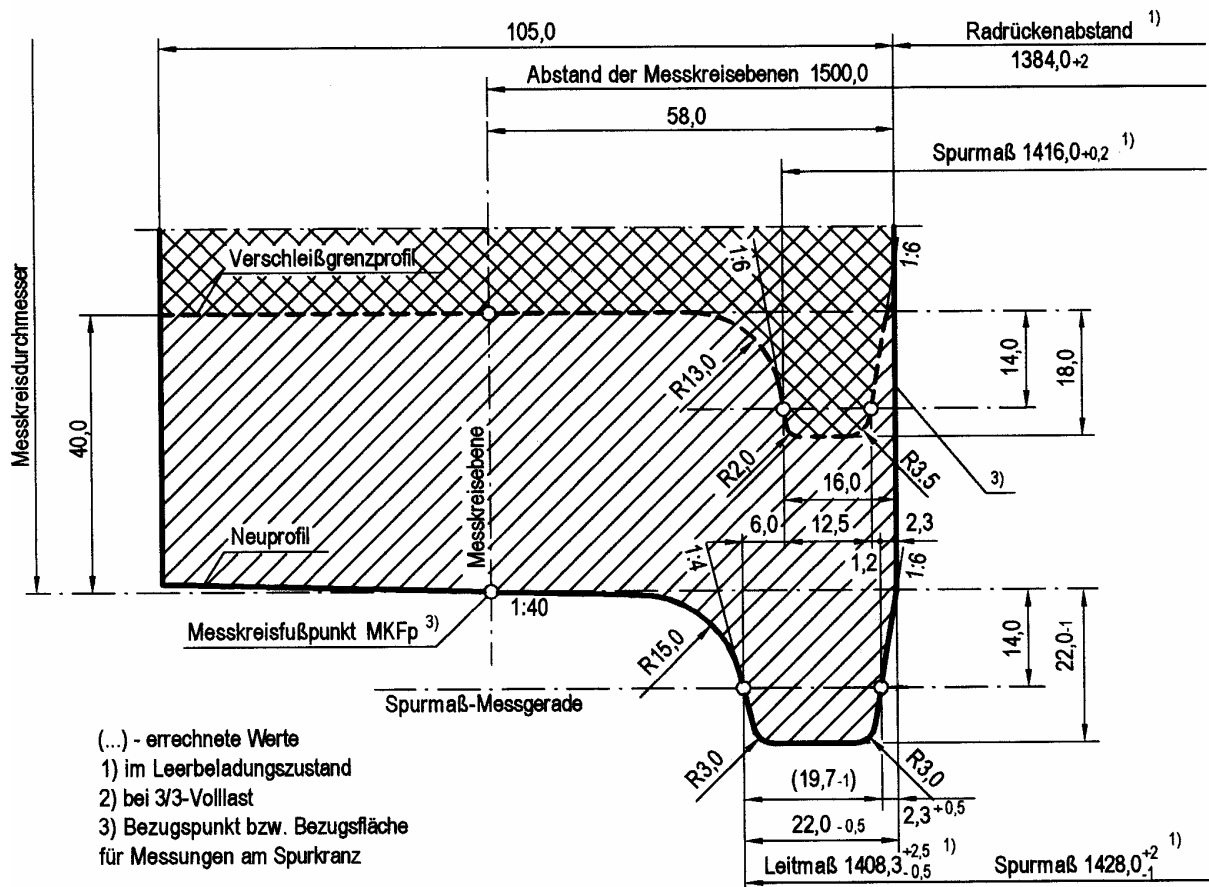
Nenn-Spurweite S, Streckengleis im Neuzustand ^{*)}	1.435 mm
Bautoleranz der Spurweite des neuen Streckengleises	± 2 mm
Bautoleranz der Spurweite bei neuen Weichenanlagen	± 1 mm
Walztoleranz für Rillenweiten bei Rillenschienen (nach VDV-OR/ORZ)	± 1 mm
Fertigungstoleranz für Rillenweiten	+ 1/ 0 mm
Max. Verschleißwert der Radl.-flanken (Vignol) stirn-/rückenstg.	4 / 4 mm
Flachrillentiefe	15 mm

^{*)} gemessen in der Spurweiten-Messebene 14 mm unter GFT

Die Berechnung wird für ein Gleisnetz mit Schienen Ri 60N / Ri 59N bzw. S 49 (1:40 geneigt) für das gerade Gleis sowie für Gleisbogenhalbmesser bis ca. 15,0 m durchgeführt.

Grundsätzlich ist das Zahlenbeispiel mit den Werten des Fahrwerks 1 gerechnet, parallel im Hintergrund wurden alle entsprechenden Werte auch für das Fahrwerk 2 ermittelt um bei der Auswertung die Auswahl der Größt- bzw. Kleinstwerte demonstrieren zu können.

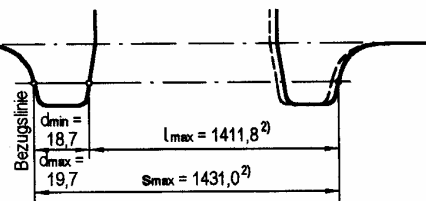
Hinweis: Alle Berechnungen und Folgerechnung sind mit hoher Computergenauigkeit durchgeführt. Beim Nachvollziehen muss berücksichtigt werden, dass sich mit den hier wiedergegebenen zwangsläufig gerundeten Werten geringfügig andere Resultate ergeben können!



Extremwerte für die Berechnung des Platzbedarfs (unmaßstäblich)

ohne Berücksichtigung der Querelastizität von elastisch gelagerten Radreifen

Fall N (Neuprofil):
 (vgl. Anhang 1, Abschn. 1.1.4.1 bzw. 1.1.4.2)



Fall V (Verschleißgrenzprofil):
 (vgl. Anhang 1, Abschn. 1.1.4.3 bzw. 1.1.4.4)

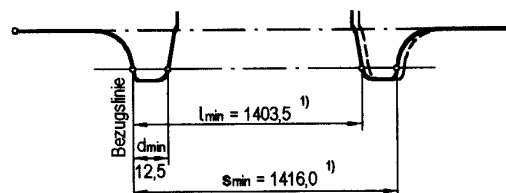


Bild 3.1: Radprofil des Rechenbeispiels

Quermaß-Nachweis (bei Anfahrwinkel 0°)

[nach Technische Regeln Spurführung (TR Sp), Abschnitt 4]

1 Lage der GGE

(vgl. TR Sp, Abschnitt 2.2)

Zuerst ist der vertikale Abstand der GGE von GFT bzw. von der Verbindungslinie der Messkreisfußpunkte festzulegen:

Dazu ist der Anfahrpunkt Rad/Schiene für das gerade Gleis im Neuzustand zu ermitteln. Grafisch (CAD, Bild 3.2) wurde bei der Rillenschiene Ri 60N der stirnflankenseitige Anfahrpunkt 11,94 mm unter GFT festgestellt. Bei der vorgegebenen Grenzneigung der Stirnflanke von 1:6 im Verschleißzustand liegt der Anfahrpunkt 12,96 mm unter GFT.

Damit werden für die Festlegung der Lage der GGE (a^*) folgende 4 Ebenen vergleichend betrachtet:

- Die Ebene der Anfahrpunkte im Neuzustand (Anfahrwinkel 0°) bei ~12 mm unter GFT
- Die Ebene der Anfahrpunkte im Verschleißgrenzzustand (Anfahrwinkel 0°) bei ~13 mm unter GFT
- Die empfohlene Messebene für die Spurweite bzw. die Lage der Spurkranz-Messgeraden 10 mm unter GFT.
- Die empfohlene Messebene für die Spurweite bzw. die Lage der Spurkranz-Messgeraden 14 mm unter GFT

Die unterschiedlichen Auswirkungen der Wahl der GGE sollen nun nachfolgend für die Quermaße im geraden Gleis untersucht und gegenübergestellt werden.

Gleis im Neuzustand / Fahrwerk im Neuzustand

(Berührebene ~12 mm unter GFT)

Gewählt: GGE 10 mm unter GFT

Spurweite im Vergleich zur Berührebene: +1,34 mm

Spurmaß im Vergleich zur Berührebene: +1,00 mm

Gewählt: GGE 14 mm unter GFT

Spurweite im Vergleich zur Berührebene: -0,74 mm

Spurmaß im Vergleich zur Berührebene: -1,00 mm

Gleis im Neuzustand / Fahrwerk im Verschleißgrenzzustand

(Berührebene ~13 mm unter GFT)

Gewählt: GGE 10 mm unter GFT

Spurweite im Vergleich zur Berührebene: +1,74 mm

Spurmaß im Vergleich zur Berührebene: +1,00 mm

Gewählt: GGE 14 mm unter GFT

Spurweite im Vergleich zur Berührebene: -0,33 mm

Spurmaß im Vergleich zur Berührebene: -0,33 mm

Aus dieser Aufstellung ist ersichtlich, dass sich die Differenzen zwischen Spurweite und Spurmaß in der jeweiligen Untersuchungsebene nur geringfügig verändern (Fehler maximal 0,74 mm), es kann also ohne signifikante Verfälschung der Ergebnisse als **GGE die Spurweiten-Messebene mit 14 mm unter GFT (→ A = a*)** gewählt werden.

Natürlich könnte die GGE auch mit höherer Genauigkeit 12,5 mm unter GFT gewählt werden, es würden dann aber Umrechnungen von der GGE zur Spurweiten Messebene erforderlich werden und wegen der letztendlich für die Quermaßtabelle erforderliche Rundung aller Werte auf volle Millimeter ist der Effekt sicher sehr gering.

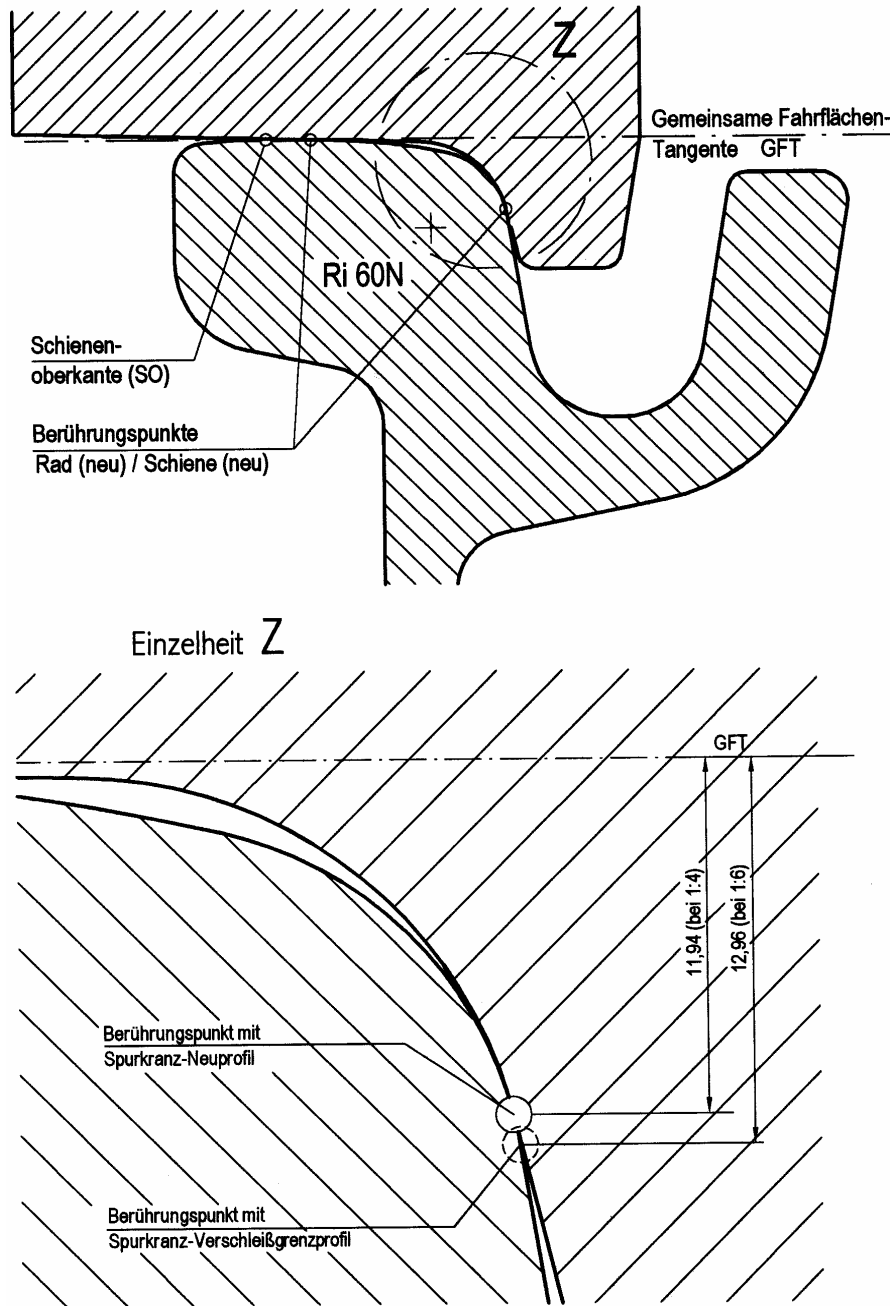


Bild 3.2: Anfahrpunkt Rad/Schiene

2 Einzelwerte

(nach TR Sp, Abschnitt 4.3)

2.1 Radsatz

(nach TR Sp, Abschnitt 4.3.1)

Grundsätzlich muss festgelegt werden, ob sich die radübergreifenden Messwerte (Spurmaß, Leitkreisabstand und Leitmaß) im Leer-Beladungszustand auf ausgebaute Fahrwerke beziehen oder ob das Leergewicht des Fahrzeuges auf die Achse während der Messung einwirkt. Da in der Regel diese Werte am Fahrzeug ermittelt werden, wird hier auf einen zusätzlichen Durchbiegungswert im Leer-Beladungszustand verzichtet.

Außerdem wird bei der Ermittlung der folgenden Maße vorausgesetzt, dass bei verschleißendem Messkreisdurchmesser ein entsprechender Rückenflankenverschleiß auftritt, der ein Anwachsen der Rückenflanke egalisiert, d.h. bei verschleißendem Messkreisdurchmesser verkleinert sich der Leitkreisabstand nicht.

Größtes Spurmaß:

$$s_{\max} = r_{\max} + 2 \cdot e_{\max} + \Delta s_D$$

Δs_D maximale Spurmaßerweiterung infolge Durchbiegung der Radachse

$$s_{\max} = (1.384,0 + 2) + 2 \cdot (22,0 + 0) + 1 = \mathbf{1.431,0 \text{ mm}}$$

Kleinster Leitkreisabstand:

$$k_{\min} = r_{\min} + 2 \cdot f_{\min} - \Delta s_D$$

Δs_D maximale Spurmaßverengung infolge Durchbiegung der Radachse

$$k_{\min} = (1.384,0 - 0) + 2 \cdot (2,3 - 0) - 0 = \mathbf{1.388,6 \text{ mm}}$$

Kleinste Leitmaß (im Neuzustand):

$$l_{n,\min} = r_{\min} + e_{\min} + f - \Delta s_D = (1.384,0 - 0) + (22,0 - 0,5) + (2,3 + 0) - 0 = \mathbf{1.407,8 \text{ mm}}$$

Kleinste Leitmaß (im Verschleißgrenzzustand):

$$l_{v,\min} = r_{\min} + e_{v,\min} + f_v - \Delta s_D = (1.384,0 - 0) + (22,0 - 6,0) + (2,3 + 1,2) - 0 = \mathbf{1.403,5 \text{ mm}}$$

Größtes Leitmaß (im Neuzustand):

$$l_{n,\max} = r_{\max} + e_{\max} + f_{\max} + \Delta s_D = (1.384,0+2) + (22,0+0) + (2,3+0,5) + 1 = \mathbf{1.411,8 \text{ mm}}$$

Größtes Leitmaß (im Verschleißgrenzzustand):

$$l_{v,\max} = r_{\max} + e_{v,\max} + f_{v,\max} + \Delta s_D = (1.384,0+2) + (22,0-6,0) + (2,3+1,2) + 1 = \mathbf{1.406,5 \text{ mm}}$$

2.2 Streckengleis

(nach TR Sp, Abschnitt 4.3.2)

Kleinste Spurweite im Streckengleis:

$$S_{\min} = S_N - |-\Delta S| = 1.435,0 - 2 = \mathbf{1.433,0 \text{ mm}}$$

S_N - Nennspurweite

$-\Delta S$ - negative Bautoleranz der Spurweite

Größter Rillenkantenabstand im Streckengleis:

$$K_{\max} = S_{\max} - 2 W_{\min}$$

$$S_{\max} = S_N + \Delta S$$

$$W_{\min} = W_N - |-\Delta W|$$

W_N - Nennrillenweite

$-\Delta W$ - negative Walztoleranz der Rillenweite

$$K_{\max} = (1.435,0 + 2) - 2 \cdot (36,0 - 1) = \mathbf{1.367,0 \text{ mm}} \text{ (für Ri 60N-Schienen)}$$

$$K_{\max} = (1.435,0 + 2) - 2 \cdot (42,0 - 1) = \mathbf{1.355,0 \text{ mm}} \text{ (für Ri 59N-Schienen)}$$

Leitweiten ergeben sich nur bei Vorhandensein von Rillen- oder Leitkanten, in der Regel also nur bei Rillenschienen. Zur Vermeidung von Rückenflankenführung hat damit die maximal zulässige Leitweite eine direkte Abhängigkeit zum minimalen

Leitmaß, und aus dem Grenzzustand bei nicht verschleißender Rillenflanke ergibt sich die zulässige Rillenerweiterung.

Größte zulässige Leitweite bei Vermeidung von Rillenflankenverschleiß:

$$L_{\max} = S_v - W_v$$

S_v - größte zulässige Spurweite bei Vermeidung von Rillenflankenverschleiß

$$S_v = S_{n,\max} + 2 \Delta W_{Ff}$$

$S_{n,\max}$ - größte Spurweite im Neuzustand

ΔW_{Ff} - größte zulässige fahrflankenseitige Rillenerweiterung bei Vermeidung von Rillenflankenverschleiß

W_v - größte zulässige Rillenweite bei Vermeidung von Rillenflankenverschleiß

$$W_v = W_{n,\min} + \Delta W_{Ff}$$

$W_{n,\min}$ - kleinste Rillenweite im Neuzustand

$$L_{\max} = S_{n,\max} + 2 \Delta W_{Ff} - (W_{n,\min} + \Delta W_{Ff}) = S_{n,\max} - W_{n,\min} + \Delta W_{Ff}$$

$$L_{\max} \leq l_{v,\min} = \mathbf{1.403,5 \text{ mm}}$$

Für Ri 60N-Schienen gilt dann (bei Berücksichtigung der Toleranzen):

$$L_{\max} = S_{n,\max} - W_{n,\min} + \Delta W_{Ff} = (1.435,0 + 2) - (36,0 - 1) + \Delta W_{Ff} = 1.402,0 + \Delta W_{Ff}$$

$$\Delta W_{Ff} = \mathbf{1,5 \text{ mm}}$$

Für Ri 59N-Schienen gilt dann (bei Berücksichtigung der Toleranzen):

$$L_{\max} = S_{n,\max} - W_{n,\min} + \Delta W_{Ff} = (1.435,0 + 2) - (42,0 - 1) + \Delta W_{Ff} = 1.396,0 + \Delta W_{Ff}$$

$$\Delta W_{Ff} = \mathbf{7,5 \text{ mm}}$$

Aus den Werten für die zulässige Rillenerweiterung ΔW_{Ff} ist zu erkennen, dass bei diesem Beispiel die Verwendung der Schienen Ri 60N allenfalls im geraden Gleis sinnvoll ist, für Bogengleise sollte das Profil Ri 59N gewählt werden!

2.3 Herzstückbereich

(nach TR Sp, Abschnitt 4.3.3)

2.3.1 Einfaches Herzstück (Tiefrille)

Kleinste Leitweite über Herzstückrille:

$$L_{H,\min} = (S_{EH} - \Delta S_{EH}) - (W_R + \Delta W_R)$$

Nennrillenweite am Radlenker:

$$W_{R,\min} \geq d_{\max} = (W_R - \Delta W_R) \geq (d + \Delta d) = (W_R - 0) \geq (19,7 + 0)$$

$$\rightarrow W_R \geq 19,7 \text{ mm} \rightarrow \text{Gewählt: } W_R = \underline{20,0 \text{ mm}}$$

$$L_{H,\min} = (S_{EH} - 1) - (20,0 + 1) = S_{EH} - 22,0$$

Nennspurweite im Bereich Einfacher Herzstücke:

aus $L_{H,\min} - l_{\max} > 0$ des Nachweises folgt:

$$(S_{EH} - 22) - 1.411,8 > 0 \rightarrow S_{EH} > 1.433,8 \rightarrow \text{Gewählt: } S_{EH} = \underline{1.434,0 \text{ mm}}$$

$$L_{H,\min} = 1.434,0 - 22,0 = \mathbf{1.412,0 \text{ mm}}$$

Größte Leitweite über Radlenkerrille:

$$L_{R,\max} = (S_{EH} + \Delta S_{EH}) - (W_{EH} - \Delta W_{EH}) = (1.434,0 + 1) - (W_{EH} - 0) = 1.435 - W_{EH}$$

Nennrillenweite am Einfachen Herzstück:

aus $l_{\min} - L_{R,\max} > 0$ des Nachweises folgt:

$$1.403,5 - (1.435 - W_{EH}) > 0 \rightarrow W_{EH} > 31,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Gewählt: } W_{EH} = \underline{32,0 \text{ mm}}$$

$$L_{R,\max} = 1.435,0 - 32,0 = \mathbf{1.403,0 \text{ mm}}$$

2.3.2 Doppeltes Herzstück (Tiefrille)

Kleinste Spurweite:

$$S_{DH,\min} = S_{DH} - \Delta S_{DH} = S_{DH} - 1$$

aus $S_{DH,\min} - s_{\max} > 0$ des Nachweises folgt:

$$(S_{DH} - 1) - 1.431,0 > 0 \rightarrow \text{Gewählt: } S_{DH} = \underline{1.432,0 \text{ mm}} \text{ (Grenzwert)}$$

$$S_{DH,\min} = 1.432,0 - 1 = \mathbf{1.431,0 \text{ mm}} \text{ (Grenzwert)}$$

Größter Leitkantenabstand:

$$K_{DH,max} = (S_{DH} + \Delta S_{DH}) - 2 \cdot (W_{DH} - \Delta W_{DH}) = (1.432,0 + 1) - 2 \cdot (W_{DH} - 0) = 1.433,0 - 2 \cdot W_{DH}$$

Nennrillenweite:

aus $k_{min} - K_{DH,max} > 0$ des Nachweises folgt:

$$1.388,6 - (1.433,0 - 2 \cdot W_{DH,min}) > 0 \rightarrow W_{DH,min} = 22,2 \text{ mm}$$

Gewählt: $W_{DH} = \underline{23,0 \text{ mm}}$

$$K_{DH,max} = 1.433,0 - 2 \cdot 23,0 = \mathbf{1.387,0 \text{ mm}}$$

3 Einzelnachweise

(nach TR Sp, Abschnitt 4.2)

3.1 Streckengleis

(nach TR Sp, Abschnitt 4.2.1)

Nachweis: kein Zwängen zwischen den Fahrflanken

$$S_{\min} - S_{\max} > 0$$

$$1.433,0 - 1.431,0 = \underline{2,0 \text{ mm} > 0} \rightarrow (\text{Nachweis erbracht!})$$

Nachweis (nur bei Rillenschienen): kein Zwängen zwischen den Rillenflanken

$$K_{\min} - K_{\max} > 0$$

$$1.388,6 - 1.367,0 = \underline{21,6 \text{ mm} > 0} \text{ (bei Ri 60N)} \rightarrow (\text{Nachweis erbracht!})$$

$$1.388,6 - 1.355,0 = \underline{33,6 \text{ mm} > 0} \text{ (bei Ri 59N)} \rightarrow (\text{Nachweis erbracht!})$$

Empfehlung (nur bei Rillenschienen): möglichst keine Führung an der Spurkranzrückenflanke

$$l_{\min} - l_{\max} > 0$$

Gerades Gleis mit Ri 60N (Grenzwertbetrachtung):

$$1.403,5 - 1.403,5 = 0 \quad \text{Ziel kann nur erreicht werden, wenn der Verschleiß an der Fahrflanke der Schiene maximal 1,5 mm beträgt! (vgl. 2.2)}$$

Gerades Gleis mit Ri 59N (Grenzwertbetrachtung):

$$1.403,5 - 1.403,5 = 0 \quad \text{Ziel kann nur erreicht werden, wenn der Verschleiß an der Fahrflanke der Schiene maximal 7,5 mm beträgt! (vgl. 2.2)}$$

Unter den gegebenen Bedingungen sollte geprüft werden, generell im Gleisnetz bei Rillenschienen das Profil Ri 59N einzusetzen!

3.2 Weichen und Kreuzungen im Bereich Einfacher Herzstücke/Radlenker (Tiefrille/Tiefrille)

(nach TR Sp, Abschnitt 4.2.2)

Nachweis: kein Zwängen in der Rille im Radlenkerbereich

$$W_{R,\min} - d_{\max} > 0$$

$$(W_R - \Delta W_R) - (d + \Delta d) = (20,0 - 0) - (19,7 + 0) = \underline{0,3 \text{ mm} > 0} \rightarrow (\text{Nachweis erbracht!})$$

Empfehlung: möglichst Führung Spurkranzstirnflanke / Fahrflanke in der Rille im Radlenkerbereich und keine Überdeckung Spurkranzrücken (-flanke) / Herzstückrillenflanke

$$L_{H,\min} - l_{\max} > 0$$

$$1.412,0 - 1.411,8 = \underline{0,2 \text{ mm} > 0} \rightarrow (\text{Ziel erreicht!})$$

Empfehlung: möglichst Führung Spurkranzrücken(-flanke) / Leitflanke in der Rille im Radlenkerbereich und keine Überdeckung Spurkranzstirnflanke/ Herzstückfahrflanke

$$l_{\min} - L_{R,\max} > 0$$

$$1.403,5 - 1.403,0 = \underline{0,5 \text{ mm} > 0} \rightarrow (\text{Ziel erreicht!})$$

3.3 Weichen und Kreuzungen im Bereich Doppelter Herzstücke (Tiefrille/Tiefrille)

(nach TR Sp, Abschnitt 4.2.3)

Nachweis: kein Zwängen zwischen den Fahrflanken

$$S_{DH,\min} - s_{\max} > 0$$

$$1.431,0 - 1.431,0 = \underline{0} \text{ (Grenzwert)} \rightarrow (\text{Nachweis erbracht!})$$

Nachweis (nur bei Rillenschienen): **kein Zwängen zwischen den Rillenflanken**

$$k_{\min} - K_{DH,\max} > 0$$

$$1.388,6 - 1.387,0 = \underline{1,6 \text{ mm} > 0} \rightarrow (\text{Nachweis erbracht!})$$

Zusätzlicher Platzbedarf der Spurkränze im Gleisbogen (nach TR Sp, Anhang 2)

(Nummerierung der Abschnitte entspricht der Nummerierung im Anhang 1!)

1 Ausgangswerte

Um den jeweiligen maßbestimmenden Neu- bzw. Verschleißgrenzzustand zu erfassen, werden an Spurkranz/Radsatz beim Anfahrwinkel 0° die Extremwerte ermittelt:

Radrückenabstand:	$1.384,0 +2/-0 =$	1.386,0 / 1.384,0 mm
Spurkranzbreite, neu:	$22,0 +0/-0,5 =$	22,0 / 21,5 mm
Spurkranzbreite, verschlissen:		16,0 mm
Rückenflanken-Stichmaß, neu:	$2,3 +0,5/-0 =$	2,8/ 2,3 mm
Rückenflanken-Stichmaß, verschlissen:		3,5 mm
Innenlagerung, 3/3-Volllast wirkt 1 mm spurmaßvergrößernd		

daraus errechnet sich:

Größtes Leitmaß (bei Volllast), neu:	$1.386,0+22,0+2,8+1 =$	1.411,8 mm
Größtes Leitmaß (bei Volllast), verschl.:	$1.386,0+16,0+3,5+1 =$	1.406,5 mm
Kleinstes Leitmaß (leer), neu:	$1.384,0 + 21,5 + 2,3 =$	1.407,8 mm
Kleinstes Leitmaß (leer), verschlissen:	$1.384,0 + 16,0 + 3,5 =$	1.403,5 mm
Größtes Spurmaß (bei Voll.), neu:	$1.386,0 + 2\cdot 22,0 + 1 =$	1.431,0 mm
Kleinstes Spurmaß (leer), verschl.:	$1.384,0 + 2\cdot 16,0 + 0 =$	1.416,0 mm
Kleinster Leitkreisabstand (leer), neu:	$1.384,0 + 2\cdot 2,3 =$	1.388,6 mm
Spurkranzdicke, neu:	$19,7 +0/-1 =$	19,7 / 18,7 mm
Spurkranzdicke, verschlissen:		12,5 mm

Aus den Extremwerten wurden für die Berechnung folgende Grenzprofile gebildet (vgl. Bild 3.1):

N	Größtes Leitmaß (bei Vollast), neu:	1.411,8 mm
	Größte / Kleinste Spurkranzdicke, neu:	19,7 / 18,7 mm
V	Kleinstes Leitmaß (leer), verschlissen:	1.403,5 mm
	Spurkranzdicke, verschlissen:	12,5 mm

Beim Neuprofil wird mit einem Messkreisdurchmesser von 700 mm / 600 mm, beim Verschleißgrenzprofil mit 620 mm / 520 mm gerechnet (ein Variieren mit den Messkreisdurchmessern erbringt nur unwesentliche Veränderungen der Ergebnisse!).

2 Detailliertes Berechnungsverfahren

2.1 Einfache Herzstücke einschl. Radlenkerbereich

2.1.1 Rillenweiten im Radlenkerbereich

2.1.1.1 Geometrie der horizontalen Spurkranz-Abschnittsfläche

Radius $r_{A,S}$ an der Spurkranzstirnflanke:

$$r_{A,S} = (x_{\ddot{U},S}^2 + d_{\ddot{U},S}^{*2}) / (2 d_{\ddot{U},S}^*) \quad \text{nach (1a)}$$

$$x_{\ddot{U},S} = \sqrt{(0,5 d_M + a^* + h_{\ddot{U},S}^*)^2 - (0,5 d_M + a^*)^2} \quad \text{nach (2a)}$$

$$h_{\ddot{U},S}^* = h - a^* - r_{K,S} [1 - \cos(\arctan n_S)] \quad \text{nach (3a)}$$

$$h_{\ddot{U},S}^* = 22 - 14 - 3 [1 - \cos(\arctan 4)] = \underline{5,728 \text{ mm}}$$

$$x_{\ddot{U},S} = \sqrt{(0,5 \cdot 700 + 14 + 5,728)^2 - (0,5 \cdot 700 + 14)^2} = \underline{64,827 \text{ mm}}$$

$$d_{\ddot{U},S}^* = h_{\ddot{U},S}^* / n_S = 5,728 / 4 = \underline{1,432 \text{ mm}} \quad \text{nach (4a)}$$

$$r_{A,S} = (64,827^2 + 1,432^2) / (2 \cdot 1,432) = \underline{1.468,171 \text{ mm}}$$

Radius $r_{A,R}$ an der Spurkranzrückenflanke:

$$r_{A,R} = (x_{\ddot{U},R}^2 + d_{\ddot{U},R}^{*2}) / (2 d_{\ddot{U},R}^*) \quad \text{nach (1b)}$$

$$x_{\ddot{U},R} = \sqrt{(0,5 d_M + a^* + h_{\ddot{U},R}^*)^2 - (0,5 d_M + a^*)^2} \quad \text{nach (2b)}$$

$$h_{\ddot{U},R}^* = h - a^* - r_{K,R} [1 - \cos(\arctan n_R)] \quad \text{nach (3b)}$$

$$h_{\ddot{U},R}^* = 22 - 14 - 3 [1 - \cos(\arctan 6)] = \underline{5,493 \text{ mm}}$$

$$x_{\ddot{U},R} = \sqrt{(0,5 \cdot 700 + 14 + 5,493)^2 - (0,5 \cdot 700 + 14)^2} = \underline{63,476 \text{ mm}}$$

$$d_{\ddot{U},R}^* = h_{\ddot{U},R}^* / n_R = 5,493 / 6 = \underline{0,916 \text{ mm}} \quad \text{nach (4b)}$$

$$r_{A,R} = (63,476^2 + 0,916^2) / (2 \cdot 0,916) = \underline{2.200,937 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_{\ddot{U},1}$ im rückenseitigen Übergangspunkt Hyperbel/Ellipse der Spurkranz-Abschnittsfläche:

$$R_{\ddot{U},1} = r_{A,R} [(0,5 a_F / x_{\ddot{U},R}) + 1] = 2.200,937 [(0,5 \cdot 1.900 / 63,476) + 1] \quad \text{nach (5)}$$

$$R_{\ddot{U},1} = \mathbf{35.140,7 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_{\ddot{U},2}$ im stirnseitigen Übergangspunkt Hyperbel/Ellipse der Spurkranz-Abschnittsfläche:

$$R_{\ddot{U},2} = r_{A,S} [(0,5 a_F / x_{\ddot{U},S}) - 1] = 1.468,171 [(0,5 \cdot 1.900 / 64,827) - 1] \quad \text{nach (6)}$$

$$R_{\ddot{U},2} = \mathbf{20.047,1 \text{ mm}}$$

Die jeweils zugehörigen mittleren Gleisradien $R_{\ddot{U},1,m}$ und $R_{\ddot{U},2,m}$ ergeben sich aus:

$$R_{\ddot{U},1,m} \sim R_{\ddot{U},1} + 0,5 s_N = \quad \text{nach (7a)}$$

$$R_{\ddot{U},1,m} \sim 35.140,7 + 0,5 \cdot 1.428,0 = \mathbf{35.900 \text{ mm}}$$

$$R_{\ddot{U},2,m} \sim R_{\ddot{U},2} + 0,5 s_N = 20.047,1 + 0,5 \cdot 1.428,0 = \mathbf{20.800 \text{ mm}} \quad \text{nach (7b)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel $\alpha_{\ddot{U},S}$ im stirnseitigen Übergangspunkt Hyperbel/Ellipse der Spurkranz-Abschnittsfläche:

$$\alpha_{\ddot{U},S} = \arcsin (x_{\ddot{U},S} / r_{A,S}) = \arcsin (64,827 / 1.468,171) = \mathbf{2,5307^\circ} \quad \text{nach (8a)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel $\alpha_{\ddot{U},R}$ im rückenseitigen Übergangspunkt Hyperbel/Ellipse der Spurkranz-Abschnittsfläche:

$$\alpha_{\ddot{U},R} = \arcsin (x_{\ddot{U},R} / r_{A,R}) = \arcsin (63,476 / 2.200,937) = \mathbf{1,6527^\circ} \quad \text{nach (8b)}$$

2.1.1.2 Anfahrpunkte im Bereich der Spurkranzflanke (Hyperbelbereich)

Beispielgebend sollen hier im Bereich der Hyperbeln der Spurkranz-Abschnittsfläche die Gleisbogenhalbmesser $R_{1/2}$ im rücken- / stirnseitigen Anfahrpunkt Rad/Schiene für einen angenommenen mittleren Gleisbogenhalbmesser $R_m = 50 \text{ m}$ (Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_{\ddot{U},1,m} \sim 35,9 \text{ m} / R_{\ddot{U},2,m} \sim 20,8 \text{ m}$) berechnet werden:

$$R_1 = (R_1 - r_{A,R}) + r_{A,R} \quad \text{nach (9)}$$

$$(R_1 - r_{A,R}) = \sqrt{(R_1 - r_{A,R})_y^2 + 0,25 a_F^2} \quad \text{nach (10)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = R_{m,y} - 0,5 s_N^* + d_{\max}^* - r_{A,R} \quad \text{nach (11)}$$

$$R_{m,y} = \sqrt{R_m^2 - 0,25 a_F^2} \quad \text{nach (12)}$$

R_m - gewählter mittlerer Gleisbogenhalbmesser

$$R_{m,y} = \sqrt{50.000^2 - 0,25 \cdot 1.900^2} = \underline{49.990,974 \text{ mm}}$$

s_N^* - Nennspurmaß in der GGE

$$s_N^* = s_N \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$d_{\max}^* = d_{\max} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = 49.990,974 - 0,5 \cdot 1.428,0 + 19,7 - 2.200,937 = \underline{47.095,737 \text{ mm}}$$

$$(R_1 - r_{A,R}) = \sqrt{47.095,737^2 + 0,25 \cdot 1.900^2} = \underline{47.105,318 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 47.105,318 + 2.200,937 = \underline{49.306,255 \text{ mm}}$$

$$R_2 = \sqrt{(R_2 + r_{A,S})_y^2 + 0,25 a_F^2} - r_{A,S} \quad \text{nach (15)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = R_{m,y} - 0,5 s_N^* + r_{A,S} \quad \text{nach (16)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = 49.990,974 - 0,5 \cdot 1.428,0 + 1.468,171 = \underline{50.745,145 \text{ mm}}$$

$$R_2 = \sqrt{50.745,145^2 + 0,25 \cdot 1.900^2} - 1.468,171 = \underline{49.285,866 \text{ mm}}$$

2.1.1.3 Anfahrpunkte im Bereich der Spurkranzkuppenabrundung (Ellipsenbereich)

Beispielgebend sollen hier im Bereich der Ellipsen der Spurkranz-Abschnittsfläche die Gleisbogenhalbmesser $R_{1/2}$ im rücken- / stirnseitigen Anfahrpunkt Rad/Schiene für einen angenommenen mittleren Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16 \text{ m}$ (Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_{\ddot{U},1,m} \sim 35,9 \text{ m}$ / $R_{\ddot{U},2,m} \sim 20,8 \text{ m}$) berechnet werden:

Äußere / innere Spurkranzkuppenabrundung (stirn- / rückerseitige Ellipse)

Große Ellipsenachse $a_{\text{EII},S/R}$:

$$a_{\text{EII},S/R} = 0,5 l_A - x_{\text{EII},S/R} \quad \text{nach (17a/b)}$$

$$l_A = 2 \sqrt{d_M (h - a^*) + h^2 - a^{*2}} = 2 \sqrt{700 (22 - 14) + 22^2 - 14^2} \quad \text{nach (18)}$$

$$l_A = \underline{153,467 \text{ mm}}$$

$$x_{EII,S/R}' = \sqrt{(0,5 d_M + h - r_{K,S/R})^2 - (0,5 d_M + a^*)^2} \quad \text{nach (19a/b)}$$

$$x_{EII,S/R}' = \sqrt{(0,5 \cdot 700 + 22 - 3)^2 - (0,5 \cdot 700 + 14)^2} = \underline{60,539 \text{ mm}}$$

$$a_{EII,S/R} = 0,5 \cdot 153,467 - 60,539 = \underline{16,194 \text{ mm}}$$

Kleine Ellipsenachse $b_{EII,S/R}$:

$$b_{EII,S/R} = r_{K,S/R} \quad \text{nach (20a/b)}$$

$$b_{EII,S/R} = \underline{3,0 \text{ mm}}$$

Lage der Ellipsen auf der Spurkranz-Abschnittsfläche

Abstand $x_{EII,S/R}$ von der mittleren Fahrwerksquerachse bis Mittelpunkt Ellipse am stirn- / rückenseitigen Anfahrpunkt der Spurkranz-Abschnittsfläche:

$$x_{EII,S} = 0,5 a_F - 0,5 l_A + a_{EII,S} = 0,5 \cdot 1.900 - 0,5 \cdot 153,467 + 16,194 \quad \text{nach (21)}$$

$$x_{EII,S} = \underline{889,461 \text{ mm}}$$

$$x_{EII,R} = 0,5 a_F + 0,5 l_A - a_{EII,R} = 0,5 \cdot 1.900 + 0,5 \cdot 153,467 - 16,194 \quad \text{nach (22)}$$

$$x_{EII,R} = \underline{1.010,539 \text{ mm}}$$

Iteration zur Ermittlung der Koordinaten am Anfahrpunkt 2

Bei Nutzung der Excel-Zielwertsuche wird für $x_{EII,2}$ ein Wert $< a_{EII,S}$ ($< 16,194 \text{ mm}$) gewählt und in die „Veränderbare Zelle“ eingetragen, in „Zielwert“ wird „0“ (Null) eingesetzt.

Die „Zielzelle“ erhält den Ausdruck:

$$\sqrt{(R_{2,y} + y_{EII,2} - d_{K,S} - d_{S^*} + 0,5 s_{N^*})^2 + (0,5 a_F)^2} - R_m = 0 \quad \text{nach (28)}$$

$$R_{2,y} = R_{2,x} / \tan \alpha_2 \quad \text{nach (26)}$$

$$R_{2,x} = x_{EII,S} - x_{EII,2} \quad \text{nach (25a)}$$

$$x_{EII,2} = 4,836 \text{ mm (entsprechend der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$R_{2,x} = 889,461 - 4,836 = \underline{884,625 \text{ mm}}$$

$$\alpha_2 = \arctan \left[\left(\frac{b_{EII,S}^2}{a_{EII,S}^2} \right) \cdot \left(\frac{x_{EII,2}}{y_{EII,2}} \right) \right] \quad \text{nach (24a)}$$

$$y_{EII,2} = b_{EII,S} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{x_{EII,2}^2}{a_{EII,S}^2} \right)} \quad \text{nach (23a)}$$

$$y_{EII,2} = 3,0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{4,836^2}{16,194^2} \right)} = \underline{2,863 \text{ mm}}$$

$$\alpha_2 = \arctan \left[\left(\frac{3,0^2}{16,194^2} \right) \cdot \left(\frac{4,836}{2,863} \right) \right] = \underline{3,3179^\circ}$$

$$R_{2,y} = 884,625 / \tan 3,3179^\circ = \underline{15.259,251 \text{ mm}}$$

$$d_{K,S} = r_{K,S} \cdot \tan (0,5 \arctan n_S) \quad \text{nach (29a)}$$

$$d_{K,S} = 3,0 \cdot \tan (0,5 \cdot \arctan 4) = \underline{2,342 \text{ mm}}$$

$$d_S^* = (h - a^*) / n_S = (22 - 14) / 4 = \underline{2,000 \text{ mm}} \quad \text{nach (30a)}$$

$$\sqrt{(15.259,251 + 2,863 - 2,342 - 2,0 + 0,5 \cdot 1.428,0)^2 + (0,5 \cdot 1.900)^2} - 16.000 = \underline{0}$$

Gleisbogenhalbmesser R_2 im Anfahrpunkt der Spurkranz-Stirnellipse an die Schienen-Fahrflanke aus:

$$R_2 = \sqrt{R_{2,x}^2 + R_{2,y}^2} \quad \text{nach (27)}$$

$$R_2 = \sqrt{884,625^2 + 15.259,251^2} = \underline{15.284,872 \text{ mm}}$$

Iteration zur Ermittlung der Koordinaten am Anfahrpunkt 1

Für $x_{EII,1}$ wird ein Wert $< a_{EII,R}$ ($< 16,194 \text{ mm}$) gewählt und in die „Veränderbare Zelle“ eingetragen, in die Zelle „Zielwert“ wird „0“ (Null) eingesetzt.

Die „Zielzelle“ erhält den Ausdruck:

$$\sqrt{(R_{1,y} - y_{EII,1} + d_{K,R} - d_{K,max} - d_S^* + 0,5 s_N^*)^2 + (0,5 a_F)^2} - R_m = 0 \quad \text{nach (32)}$$

$$R_{1,y} = R_{1,x} / \tan \alpha_1 \quad \text{nach (26)}$$

$$R_{1,x} = x_{EII,R} + x_{EII,1} \quad \text{nach (31b)}$$

$$x_{EII,1} = 5,472 \text{ mm (entsprechend der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$R_{1,x} = 1.010,539 + 5,472 = \underline{1.016,011 \text{ mm}}$$

$$\alpha_1 = \arctan \left[\left(\frac{b_{EII,R}^2}{a_{EII,R}^2} \right) \cdot \left(\frac{x_{EII,1}}{y_{EII,1}} \right) \right] \quad \text{nach (24b)}$$

$$y_{EII,1} = b_{EII,R} \cdot \sqrt{1 - (x_{EII,1}^2 / a_{EII,R}^2)} \quad \text{nach (23b)}$$

$$y_{EII,1} = 3,0 \cdot \sqrt{1 - (5,472^2 / 16,194^2)} = \underline{2,824 \text{ mm}}$$

$$\alpha_1 = \arctan [(3,0^2 / 16,194^2) \cdot (5,473 / 2,824)] = \underline{3,8051^\circ}$$

$$R_{1,y} = 1.016,011 / \tan 3,8051^\circ = \underline{15.276,421 \text{ mm}}$$

$$d_{K,R} = r_{K,R} \cdot \tan (0,5 \arctan n_R) \quad \text{nach (29b)}$$

$$d_{K,R} = 3,0 \cdot \tan (0,5 \arctan 6) = \underline{2,541 \text{ mm}}$$

$$d_{K,max} = d_{max} - d_{S^*} - d_{R^*} \quad \text{nach (33)}$$

$$d_{R^*} = (h - a^*) / n_R = (22 - 14) / 6 = \underline{1,333 \text{ mm}} \quad \text{nach (30b)}$$

$$d_{K,max} = 19,7 - 2,0 - 1,333 = \underline{16,367 \text{ mm}}$$

$$\sqrt{(15.276,421 - 2,824 + 2,541 - 16,367 - 2,0 + 0,5 \cdot 1.428,0)^2 + (0,5 \cdot 1.900)^2} - 16.000 = \underline{0}$$

Der Gleisbogenhalbmesser R_1 im Anfahrpunkt der Spurkranz-Rückenellipse an die Schienen-Leitflanke errechnet sich dann aus:

$$R_1 = \sqrt{R_{1,x}^2 + R_{1,y}^2} \quad \text{nach (27)}$$

$$R_1 = \sqrt{1.016,011^2 + 15.276,421^2} = \underline{15.310,170 \text{ mm}}$$

2.1.1.4 Rillenweiten im Radlenkerbereich

Beispielgebend wird hier die Berechnung mit den Werten der mittleren Gleisbogenhalbmesser 50 m und 16 m aus den Berechnungen in den Abschnitten 2.1.1.2 und 2.1.1.3 vorgenommen.

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 50 \text{ m}$

Stirnseitige Aufweitung der Rille im Radlenkerbereich gegenüber der Geraden im Gleisbogen:

$$\Delta d_S^* = R_m - R_2 - 0,5 s^* \quad \text{nach (35)}$$

$$\Delta d_S^* = 50.000 - 49.285,866 - 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{\underline{0,134 \text{ mm}}}$$

Rückenseitige Aufweitung gegenüber der Geraden:

$$\Delta d_R^* = (0,5 s^* - d^*) - (R_m - R_1) \quad \text{nach (34)}$$

$$\Delta d_R^* = (0,5 \cdot 1.428,0 - 19,7) - (50.000 - 49.306,255) = \underline{\underline{0,555 \text{ mm}}}$$

Gesamtaufweitung der Rille gegenüber der Geraden:

$$\Delta d^* = \Delta d_S^* + \Delta d_R^* = 0,134 + 0,555 = \underline{\underline{0,689 \text{ mm}}} \quad \text{nach (36)}$$

Mindestens erforderliche Radlenker-Rillenweite W_R in der GGE:

$$W_R^* = d_{\max}^* + \Delta d^* = 19,7 + 0,689 = \underline{\underline{20,389 \text{ mm}}} \quad \text{nach (37)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16 \text{ m}$

Stirnseitige Aufweitung der Rille im Radlenkerbereich gegenüber der Geraden im Gleisbogen:

$$\Delta d_S^* = 16.000 - 15.284,872 - 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{\underline{1,128 \text{ mm}}}$$

Rückenseitige Aufweitung gegenüber der Geraden:

$$\Delta d_R^* = (0,5 \cdot 1.428,0 - 19,7) - (16.000 - 15.310,170) = \underline{\underline{4,470 \text{ mm}}}$$

Gesamtaufweitung der Rille gegenüber der Geraden:

$$\Delta d^* = 1,128 + 4,472 = \underline{\underline{5,600 \text{ mm}}}$$

Mindestens erforderliche Radlenker-Rillenweite W_R in der GGE:

$$W_R^* = 19,7 + 5,600 = \underline{\underline{25,300 \text{ mm}}}$$

Tabelle 3.1a enthält die Eingabewerte und allgemein gültigen Berechnungswerte, Tabelle 3.1b und 3.1c alle Berechnungswerte für die frei gewählten Gleisbogenhalbmesser für die Spurkränze der Musterfahrwerke 1 und 2 sowie Tabelle 3.1d die Be-

rechnungswerte für die aus dem Diagramm 3.1 abgelesenen Grenz-Gleisbogenhalbmesser für die Spurkränze des maßbestimmenden Musterfahrwerks 1.

Diagramm 3.1 stellt die erforderliche Rillenweite in Abhängigkeit vom mittleren Gleisbogenhalbmesser für die Spurkränze beider Musterfahrwerke dar. Die Spurkränze des Fahrwerks 1 haben offensichtlich den etwas größeren Platzbedarf, also sind sie für die Bemessung der Rillenweite maßgebend. Da in der Spur- und Rillenweiten-Tabelle Gruppen von Gleisbogenhalbmessern anzugeben sind, empfiehlt es sich, diese Gruppeneinteilung nach Rillenweiten im Radlenkerbereich vorzunehmen, die auf volle Millimeter abgestuft sind.

Es können aus dem Spurkranz-Platzbedarf des maßbestimmenden Fahrwerks 1 im Diagramm 3.1 jeweils die Gleisbogenhalbmesser abgelesen werden, für die eine Rillenweite im Radlenkerbereich mit vollen Millimetern zutrifft:

Rillenweite im Radlenkerbereich in mm	Gleisbogenhalbmesser in m
20	≥ 75
21	≥ 37
22	≥ 27
23	≥ 22
24	≥ 19
25	$\geq 16,5$
26	$< 16,5$

Die weiteren Berechnungen werden nun mit diesen Grenz-Gleisbogenhalbmessern durchgeführt. Zusätzlich sind zur Information die Gleisbogenhalbmesser 50 m, 100 m und 200 m in die Berechnung einbezogen worden.

Quermaßuntersuchung für:	VDV	Nennspurweite:	1435 mm
Erforderliche Radlenker-Rillenweite im Gleisbogen (= wirksame max. Spurkranzdicke)			
(Detaillierte Berechnung <u>mit</u> Berücksichtigung der Spurkranzkuppenabrundung)			
Untersuchter Fall:	Neuzustand	Radprofil:	
Alle Zahlenwerte sind Grundwerte, ohne Berücksichtigung von Bau- oder Herstellungstoleranzen, elast. Verformungen usw.!			
Alle Längemaße in mm, alle Winkel in dezimalgeteiltem Altgrad!			
Eingabewerte Rad/Radsatz (horizontale Maße in der Spurmaß-Messgeraden gemessen):			
Abst. a der Spurm.-Messgerade von MKF/Abst. a* der GGE von MKF:		14,0	14,00
Nenn-Spurmaß s / Nenn-Rückenflächenabstand bzw. Nenn-Leitkreisabstand r :		1.428,00	1.324,00
Nenn-Spurkranzdicke d / Nenn-Spurkranzhöhe h :		19,70	22,00
Winkel der Spurkranzstirnflanke / Neigung 1:n_S der Spurkranzstirnflanke:		° oder 1:	4,000
Winkel der Spurkranzrückenflanke / Neigung 1:n_R der Spurkranzrückenflanke:		° oder 1:	6,000
Äußere Spurkranzkuppenabrundung r_{K,S} / innere Spurkranzkuppenabrundung r_{K,R} :		3,0	3,0
Fahrzeugtyp		1	2
Achsabstand a_F der starren Achsen:		1.900,0	2.000,0
Messkreisdurchmesser. d_M :		700,0	600,0
Rechenwerte am Spurkranz (* - Maße in der GGE, wenn Lage nicht eindeutig):			
Nenn-Spurmaß s* :	1428,000	Neigg. 1:n_S der Spurkranzstirnflanke:	4,0000
Nenn-Leitmaß l* :	1408,300	Neigg. 1:n_R der Spurkranzrückenflanke:	6,0000
Nenn-Spurkranzdicke d* :	19,700	Winkel α_S d. Spurkr.-stirnfl. zur Waagerechten:	75,9638
Spurkranzbreite e (in der Spurkr.-Messgeraden):	52,000	Winkel α_R d. Spurkr.-rückenfl. zur Waager.:	80,5377
Spurkranzbreite e* :	52,000	Breite der Spurkranzkuppe d_K (unausgerundet) :	16,367
Zunahme der Spurkranzdicke d_{S0} (stirnseitig) / d_{R0} (rückenseitig) von Spurmaß-Messgerade bis MKFp-MKFp:			3,500 32,300
Abnahme der Spurkranzdicke d_{S*} (stirnseitig) / d_{R*} (rückenseitig) unterhalb der GGE (bei unausgerundeter Kuppe):			2,000 1,333
vertikale Lage des Übergangspunktes Hyp./Eil. \ddot{U}_S/\ddot{U}_R h_{Ü,S}/h_{Ü,R} (stirnseitig/rückenseitig):			5,728 5,493
horizontale Lage in y-Richtung des Übergangspunktes Hyp./Eil. \ddot{U}_S/\ddot{U}_R d_{Ü,S}/d_{Ü,R} (stirnseitig/rückenseitig):			1,432 0,916
Verminderung d_{K,S} / d_{K,R} von d_K bis zur geraden Kuppenlinie d_{K,G} (stirnseitig / rückenseitig):			2,342 2,541
Länge d_{K,G} der geraden Spurkranzkuppe (ausgehend von Nenn-Spurkranzdicke):			11,483
Fahrzeugtyp		1	2
Länge l_A der Spurkranz-Abschnittsfläche:		153,467	142,660
Lage in x-Richtung des stirnseitigen Übergangspunktes \ddot{U}_S x_{Ü,S} :		64,827	60,247
Lage in x-Richtung des rückenseitigen Übergangspunktes \ddot{U}_R x_{Ü,R} :		63,476	58,991
Radius r_{A,S} an d. Spurkr.-Abschnittsfl., stirnseitig (Hyperbel):		1.468,171	1.268,171
Radius r_{A,R} an d. Spurkr.-Abschnittsfl., rückenstg. (Hyperbel):		2.200,937	1.900,937
In der Spurkranz-Abschnittsfläche des Innenrades am Übergangspunkt \ddot{U}_S / \ddot{U}_R			
- Gleisbogenhalbmesser R_{Ü,S} (stirnseitig):		20.047,1	19.781,2
- Gleisbogenhalbmesser R_{Ü,R} (rückenseitig):		35.140,7	34.125,3
- Anlaufwinkel α_{Ü,S} (stirnseitig):		2,5307	2,7230
- Anlaufwinkel α_{Ü,R} (rückenseitig):		1,6527	1,7783
Geometrie der Ellipsen			
- Große Ellipsenachse (stirnseitig) a_{EII,S} :		16,194	15,072
- Kleine Ellipsenachse (stirnseitig) b_{EII,S} :		3,000	3,000
- Große Ellipsenachse (rückenseitig) a_{EII,R} :		16,194	15,072
- Kleine Ellipsenachse (rückenseitig) b_{EII,R} :		3,000	3,000
x-Abstand von der Radachse bis Mittelpunkt Berührungs-Ellipse			
- Rad 2/3 (stirnseitige Ellipse) x_{EII,S}* :		60,539	56,258
- Rad 1/4 (rückenseitige Ellipse) x_{EII,R}* :		60,539	56,258
x-Abstand von der Fahrwerksquerachse bis Mittelpunkt Berührungs-Ellipse			
- Rad 2/3 (stirnseitige Ellipse) x_{EII,S} :		889,461	943,742
- Rad 1/4 (rückenseitige Ellipse) x_{EII,R} :		1.010,539	1.056,258

Tabelle 3.1a: Erf. Rillenweite im gebogenen Radlenkerbereich - Eingabewerte und allgemeine Berechnungen (detailliertes Berechnungsverfahren)

Fahrzeugtyp: **Musterfzg.1**

Alle Werte in mm		1	2	3	4	5	6
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:		14.000	16.000	18.000	20.000	22.500	25.000
y-Koordinate von R_m		13.967,731	15.971,772	17.974,913	19.977,425	22.479,935	24.981,943
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnfl. Rad 2		13.284,693	15.284,872	17.285,042	19.285,198	21.785,349	24.285,471
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1		13.311,215	15.310,170	17.309,408	19.308,830	21.808,279	24.307,858
Δd_S , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig		1,307	1,128	0,958	0,802	0,651	0,529
Δd_R , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig		5,515	4,470	3,708	3,130	2,579	2,158
Δd , radial zum Gleisbogen		6,821	5,598	4,666	3,932	3,230	2,687
$W_{R_{eff}}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)		26,521	25,298	24,366	23,632	22,930	22,387
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der stirnseitigen Ellipse:							
stirnseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	14.000	16.000	18.000	20.000		
	gewählt: $x_{EII,2}$ (Veränderbare Zelle)	5,485	4,836	4,320	3,900	5,141	5,141
	zugehöriger Wert $y_{EII,2}$	2,823	2,863	2,891	2,912		
	Anlaufwinkel α_2 (in °)	3,8153	3,3179	2,9353	2,6319		
	$R_{2,x}$ (x-Koord. von R_2)	883,976	884,624	885,141	885,561		
	$R_{2,y}$ (y-Koord. von R_2)	13.255,250	15.259,251	17.262,364	19.264,855		
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2	13.284,693	15.284,872	17.285,042	19.285,198		
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der rückenseitigen Ellipse:							
rückenseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	14.000	16.000	18.000	20.000	22.500	25.000
	gewählt: $x_{EII,1}$ (Veränderbare Zelle)	6,188	5,472	4,897	4,426	3,948	3,561
	zugehöriger Wert $y_{EII,1}$	2,772	2,824	2,860	2,886	2,909	2,927
	Anlaufwinkel α_1 (in °)	4,3806	3,8051	3,3631	3,0131	2,6663	2,3910
	$R_{1,x}$ (x-Koord. von R_1)	1.016,728	1.016,011	1.015,436	1.014,965	1.014,487	1.014,100
	$R_{1,y}$ (y-Koord. von R_1)	13.272,328	15.276,421	17.279,598	19.282,136	21.784,670	24.286,695
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1	13.311,215	15.310,170	17.309,408	19.308,830	21.808,279	24.307,858
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der stirnseitigen Ellipse:							
stirnseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	30.000	40.000	50.000	75.000	100.000	0
	gewählt: $x_{EII,2}$ (Veränderbare Zelle)	5,141	5,141	5,141	5,141	5,141	5,141
	zugehöriger Wert $y_{EII,2}$						
	Anlaufwinkel α_2 (in °)						
	$R_{2,x}$ (x-Koord. von R_2)						
	$R_{2,y}$ (y-Koord. von R_2)						
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)						
	Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2						
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der rückenseitigen Ellipse:							
rückenseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	30.000					
	gewählt: $x_{EII,1}$ (Veränderbare Zelle)	2,973	3,637	3,540	3,540	3,540	3,540
	zugehöriger Wert $y_{EII,1}$	2,949					
	Anlaufwinkel α_1 (in °)	1,9818					
	$R_{1,x}$ (x-Koord. von R_1)	1.013,513					
	$R_{1,y}$ (y-Koord. von R_1)	29.289,729					
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00					
	Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1	29.307,259					

markierter Bereich entspricht der Beispielrechnung der Abschnitte 2.1.1.2 und 2.1.1.3

Tabelle 3.1b: Erforderlicher Platzbedarf der Spurkranze des Musterfahrwerks 1 im Gleisbogen der Innenschiene (Radlenker) mit frei gewählten Gleisbogenhalbmessern (detailliertes Berechnungsverfahren)

Alle Werte in mm		1	2	3	4	5	6
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:		14.000	16.000	18.000	20.000	22.500	25.000
y-Koordinate von R _m		13.964,240	15.968,719	17.972,201	19.974,984	22.477,767	24.979,992
Gleisbg-halbm. R ₂ an der Stirnfl. Rad 2		13.284,960	15.285,083	17.285,215	19.285,343	21.785,466	24.285,566
Gleisbg-halbm. R ₁ an der Rückenfl. Rad 1		13.311,271	15.310,201	17.309,423	19.308,834	21.808,274	24.307,848
Δd _S , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig		1,040	0,917	0,785	0,657	0,534	0,434
Δd _R , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig		5,571	4,501	3,723	3,134	2,574	2,148
Δd , radial zum Gleisbogen		6,611	5,418	4,508	3,791	3,109	2,582
W_{R,eff} (wirksame max. Spurkranzdicke)		26,311	25,118	24,208	23,491	22,809	22,282
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der stirnseitigen Ellipse:							
stirnseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R _m	14.000	16.000	18.000	20.000		
	gewählt: x _{EII,2} (Veränderbare Zelle)	5,053	4,454	3,977	3,589	5,508	5,508
	zugehöriger Wert y _{EII,2}	2,826	2,866	2,894	2,914		
	Anlaufwinkel α ₂ (in °)	4,0518	3,5231	3,117	2,794		
	R _{2,x} (x-Koord. von R ₂)	938,688	939,288	939,765	940,152		
	R _{2,y} (y-Koord. von R ₂)	13.251,756	15.256,196	17.259,649	19.262,413		
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Gleisbg-halbm. R ₂ am Berührungspunkt Rad 2	13.284,960	15.285,083	17.285,215	19.285,343		
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der rückenseitigen Ellipse:							
rückenseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R _m	14.000	16.000	18.000	20.000	22.500	25.000
	gewählt: x _{EII,1} (Veränderbare Zelle)	5,622	4,967	4,442	4,014	3,579	3,227
	zugehöriger Wert y _{EII,1}	2,783	2,832	2,867	2,892	2,914	2,930
	Anlaufwinkel α ₁ (in °)	4,5755	3,9746	3,5132	3,1478	2,7856	2,4981
	R _{1,x} (x-Koord. von R ₁)	1.061,881	1.061,226	1.060,701	1.060,272	1.059,837	1.059,485
	R _{1,y} (y-Koord. von R ₁)	13.268,849	15.273,377	17.276,893	19.279,701	21.782,506	24.284,748
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gleisbg-halbm. R ₁ am Berührungspunkt Rad 1	13.311,271	15.310,201	17.309,423	19.308,834	21.808,274	24.307,848
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der stirnseitigen Ellipse:							
stirnseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R _m						
	gewählt: x _{EII,2} (Veränderbare Zelle)	5,508	5,508	5,508	5,508	5,508	5,508
	zugehöriger Wert y _{EII,2}						
	Anlaufwinkel α ₂ (in °)						
	R _{2,x} (x-Koord. von R ₂)						
	R _{2,y} (y-Koord. von R ₂)						
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)						
	Gleisbg-halbm. R ₂ am Berührungspunkt Rad 2						
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der rückenseitigen Ellipse:							
rückenseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R _m	30.000					
	gewählt: x _{EII,1} (Veränderbare Zelle)	2,694	6,166	6,166	6,166	6,166	6,166
	zugehöriger Wert y _{EII,1}	2,952					
	Anlaufwinkel α ₁ (in °)	2,0707					
	R _{1,x} (x-Koord. von R ₁)	1.058,952					
	R _{1,y} (y-Koord. von R ₁)	29.288,106					
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00					
	Gleisbg-halbm. R ₁ am Berührungspunkt Rad 1	29.307,243					

Alle Werte in mm		7	8	9	10	11	12
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:		30.000	40.000	50.000	75.000	100.000	0
y-Koordinate von R _m		29.983,329	39.987,498	49.989,999	74.993,333	99.995,000	
Gleisbg-halbm. R ₂ an der Stirnfl. Rad 2		29.285,698	39.285,829	49.285,890	74.285,951	99.285,972	
Gleisbg-halbm. R ₁ an der Rückenfl. Rad 1		29.307,243	39.306,567	49.306,248	74.305,939	99.305,833	
Δd _S , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig		0,302	0,171	0,110	0,049	0,028	
Δd _R , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig		1,543	0,867	0,548	0,239	0,133	
Δd , radial zum Gleisbogen		1,846	1,038	0,657	0,288	0,161	
W_{R,eff} (wirksame max. Spurkranzdicke)		21,546	20,738	20,357	19,988	19,861	
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der stirnseitigen Ellipse:							
stirnseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R _m						
	gewählt: x _{EII,2} (Veränderbare Zelle)	5,508	5,508	5,508	5,508	5,508	5,508
	zugehöriger Wert y _{EII,2}						
	Anlaufwinkel α ₂ (in °)						
	R _{2,x} (x-Koord. von R ₂)						
	R _{2,y} (y-Koord. von R ₂)						
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)						
	Gleisbg-halbm. R ₂ am Berührungspunkt Rad 2						
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der rückenseitigen Ellipse:							
rückenseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R _m	30.000					
	gewählt: x _{EII,1} (Veränderbare Zelle)	2,694	6,166	6,166	6,166	6,166	6,166
	zugehöriger Wert y _{EII,1}	2,952					
	Anlaufwinkel α ₁ (in °)	2,0707					
	R _{1,x} (x-Koord. von R ₁)	1.058,952					
	R _{1,y} (y-Koord. von R ₁)	29.288,106					
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00					
	Gleisbg-halbm. R ₁ am Berührungspunkt Rad 1	29.307,243					

Tabelle 3.1c: Erforderlicher Platzbedarf der Spurkränze des Musterfahrwerks 2 im Gleisbogen der Innenschiene (Radlenker) mit frei gewählten Gleisbogenhalbmessern (detailliertes Berechnungsverfahren)

**Mind. erforderliche Radlenker-Rillenweite (= max. wirksame Spurkranzdicke)
im Gleisbogen in der GGE**
[ausgehend von der Nenn-Spurkranzdicke (= max. Spurkranzdicke) in GGE von 19,7 mm]

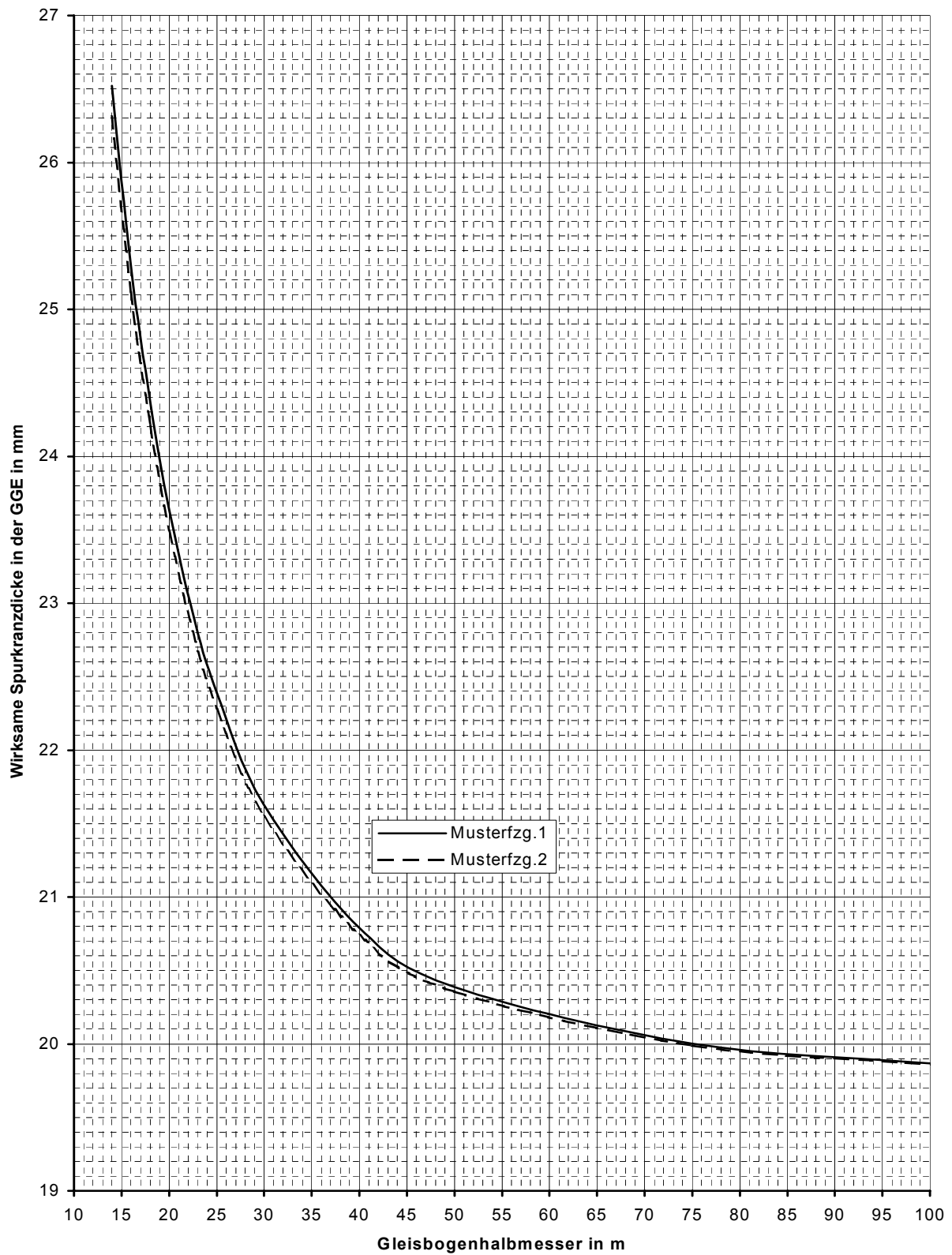


Diagramm 3.1: Erforderliche Rillenweite im Radlenkerbereich (= wirksame Spurkranzdicke) in Abhängigkeit vom Gleisbogenhalbmesser (detailliertes Berechnungsverfahren)

Zunahme der wirksamen Spurkranzdicke im Gleisbogen beim Musterfahrzeug 1
 [ausgehend von der Nenn-Spurkranzdicke (= max. Spurkranzdicke) in GGE von 19,7 mm]

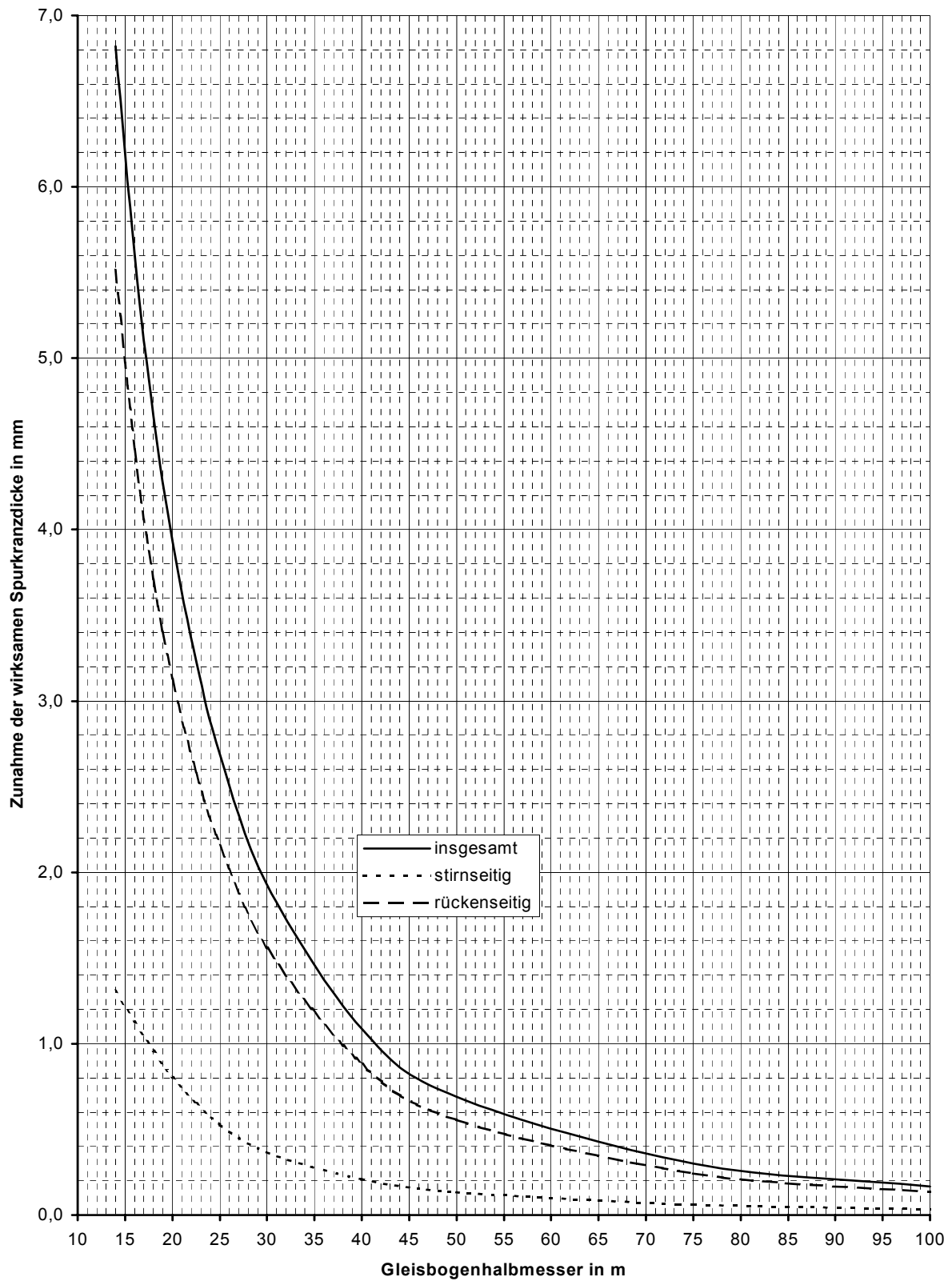


Diagramm 3.2a: Zunahme der wirksamen Spurkranzdicke im Gleisbogen
 (Musterfahrzeug 1)
 (detailliertes Berechnungsverfahren)

Zunahme der wirksamen Spurkranzdicke im Gleisbogen beim Musterfahrzeug 2
 [ausgehend von der Nenn-Spurkranzdicke (= max. Spurkranzdicke) in GGE von 19,7 mm]

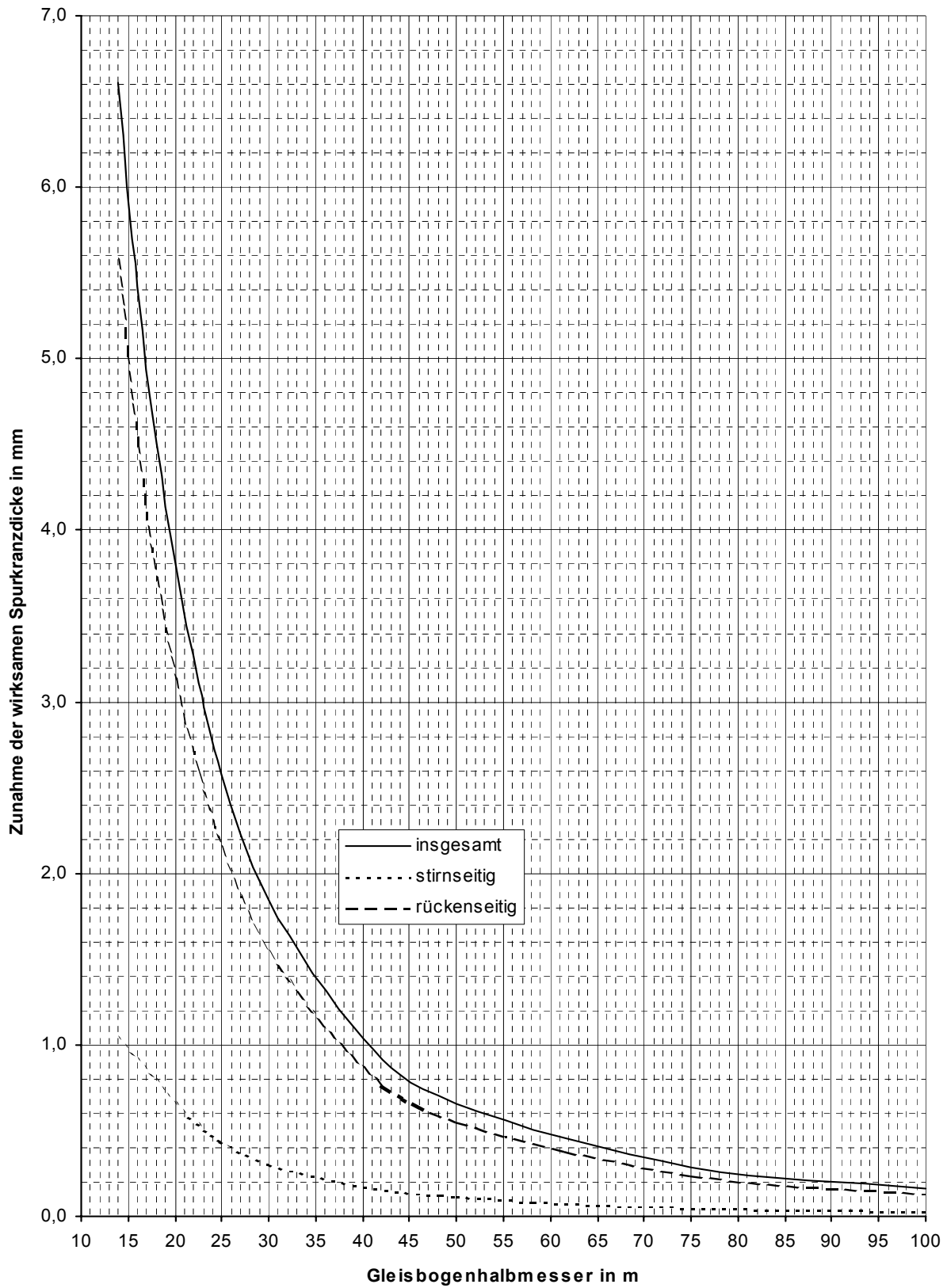


Diagramm 3.2b: Zunahme der wirksamen Spurkranzdicke im Gleisbogen (Musterfahrzeug 2) (detailliertes Berechnungsverfahren)

Fahrzeugtyp: **Musterfzg.1**

Alle Werte in mm		1	2	3	4	5	6
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:		15.000	16.500	19.000	22.000	27.000	37.000
y-Koordinate von R_m		14.969,886	16.472,629	18.976,235	21.979,479	26.983,282	36.987,802
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnfl. Rad 2		14.284,783	15.784,916	18.285,122	21.285,320	26.285,546	36.285,756
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1		14.310,648	15.809,958	18.309,100	21.308,377	26.307,587	36.306,735
Δd_s , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig		1,217	1,084	0,878	0,680	0,454	0,244
Δd_r , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig		4,948	4,258	3,400	2,677	1,887	1,035
Δd , radial zum Gleisbogen		6,166	5,342	4,278	3,358	2,342	1,279
$W_{R,erf}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)		25,866	25,042	23,978	23,058	22,042	20,979
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der stirnseitigen Ellipse:							
stirnseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	15.000	16.500	19.000			
	gewählt: $x_{EII,2}$ (Veränderbare Zelle)	5,141	4,697	4,100	3,900	5,141	5,141
	zugehöriger Wert $y_{EII,2}$	2,845	2,871	2,902			
	Anlaufwinkel α_2 (in °)	3,5492	3,2132	2,7753			
	$R_{2,x}$ (x-Koord. von R_2)	884,319	884,764	885,361			
	$R_{2,y}$ (y-Koord. von R_2)	14.257,384	15.760,100	18.263,675			
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00	0,00	0,00			
	Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2	14.284,783	15.784,916	18.285,122			
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der rückenseitigen Ellipse:							
rückenseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	15.000	16.500	19.000	22.000	27.000	
	gewählt: $x_{EII,1}$ (Veränderbare Zelle)	5,810	5,317	4,650	4,035	3,301	3,561
	zugehöriger Wert $y_{EII,1}$	2,800	2,834	2,874	2,905	2,937	
	Anlaufwinkel α_1 (in °)	4,0726	3,6840	3,1785	2,7291	2,2086	
	$R_{1,x}$ (x-Koord. von R_1)	1.016,349	1.015,856	1.015,189	1.014,575	1.013,840	
	$R_{1,y}$ (y-Koord. von R_1)	14.274,512	15.777,288	18.280,934	21.284,210	26.288,044	
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1	14.310,648	15.809,958	18.309,100	21.308,377	26.307,587	
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der stirnseitigen Ellipse:							
stirnseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
	gewählt: $x_{EII,2}$ (Veränderbare Zelle)	5,141	5,141	5,141	5,141	5,141	5,141
	zugehöriger Wert $y_{EII,2}$						
	Anlaufwinkel α_2 (in °)						
	$R_{2,x}$ (x-Koord. von R_2)						
	$R_{2,y}$ (y-Koord. von R_2)						
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)						
	Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2						
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der rückenseitigen Ellipse:							
rückenseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
	gewählt: $x_{EII,1}$ (Veränderbare Zelle)	2,973	3,637	3,540	3,540	3,540	3,540
	zugehöriger Wert $y_{EII,1}$						
	Anlaufwinkel α_1 (in °)						
	$R_{1,x}$ (x-Koord. von R_1)						
	$R_{1,y}$ (y-Koord. von R_1)						
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)						
	Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1						

Alle Werte in mm		7	8	9	10	11	12
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:		50.000	75.000	100.000	200.000	0	0
y-Koordinate von R_m		49.990,974	74.993,983	99.995,487	199.997,744		
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnfl. Rad 2		49.285,866	74.285,940	99.285,966	199.285,992		
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1		49.306,255	74.305,942	99.305,835	199.305,733		
Δd_s , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig		0,134	0,060	0,034	0,008		
Δd_r , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig		0,555	0,242	0,135	0,033		
Δd , radial zum Gleisbogen		0,689	0,301	0,168	0,042		
$W_{R,erf}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)		20,389	20,001	19,868	19,742		
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der stirnseitigen Ellipse:							
stirnseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
	gewählt: $x_{EII,2}$ (Veränderbare Zelle)	5,141	5,141	5,141	5,141	5,141	5,141
	zugehöriger Wert $y_{EII,2}$						
	Anlaufwinkel α_2 (in °)						
	$R_{2,x}$ (x-Koord. von R_2)						
	$R_{2,y}$ (y-Koord. von R_2)						
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)						
	Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2						
Zielwertsuche für Berührungspunkte im Bereich der rückenseitigen Ellipse:							
rückenseitig	Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
	gewählt: $x_{EII,1}$ (Veränderbare Zelle)	2,973	3,637	3,540	3,540	3,540	3,540
	zugehöriger Wert $y_{EII,1}$						
	Anlaufwinkel α_1 (in °)						
	$R_{1,x}$ (x-Koord. von R_1)						
	$R_{1,y}$ (y-Koord. von R_1)						
	Vergleichsrechnung (Zielwert/Zielzelle)						
	Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1						

Tabelle 3.1d: Erforderlicher Platzbedarf der Spurkränze des maßbestimmenden Musterfahrwerks 1 im Gleisbogen der Innenschiene (Radlenker) bei Grenz-Gleisbogenhalbmessern (detailliertes Berechnungsverfahren)

2.1.2 Leitweiten über Herzstückrille bzw. über die Rille im Radlenkerbereich

Hier wird vom Spießgang des Fahrwerks in der Rille im Radlenkerbereich mit Neumaß ausgegangen, maximale Rillenweite: Nennmaß plus 1 mm Fertigungstoleranz.

Fahrwerksseitig wird die Berechnung mit den Neuwerten N bzw. mit den Verschleißgrenzwerten V nach Bild 3.1 durchgeführt um die Extremwerte zu erhalten.

Entsprechend den Eingangserläuterungen bzw. Anhang 1, Abschnitte 1.1.4.1 und 1.1.4.3 wird bei der Ermittlung von R_3 (berührender Gleisbogenhalbmesser an der Stirnseite der Spurkranzabschnittsfläche des Rades 3) bei den bogeninneren Rädern 1 und 2 von kleinster neuer Spurkranzdicke, beim bogenäußeren Rad 3 von größter neuer Spurkranzdicke sowie vom größten Radrücken-/ Leitkreisabstand ausgegangen, dagegen bei der Ermittlung von R_4 (berührender Gleisbogenhalbmesser an der Rückenseite der Spurkranzabschnittsfläche des Rades 4) von einer verschlissenen Spurkranzdicke sowie vom kleinsten Radrücken-/ Leitkreisabstand.

Zur Erleichterung der Berechnung wird für alle Untersuchungen im Neu- und Verschleißgrenzzustand festgelegt, dass der die Stirnseite des Rades 2 berührende Gleisbogenhalbmesser R_2 sich aus dem Grenz-Gleisbogenhalbmesser R_m (aus 2.1.1.4) abzüglich der halben Nennspurweite ergibt [nach (38)]. Dann errechnet sich der Gleisbogenhalbmesser, der die Rückenseite des Rades 1 berührt, aus R_2 plus Rillenweite im Radlenkerbereich. Damit sind generell die Werte für R_1 und R_2 bekannt und können vorgegeben werden.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass bei der Berechnung vom Anfahrwinkel α_1 sowie vom Gleisbogenhalbmesser R_1 jeweils vom Rad 1 ausgegangen wird. Die Eingangswerte in die Berechnung am Rad 1 sind gegebenenfalls so lange zu iterieren, bis sich der Gleisbogenhalbmesser R_1 auf den vorgegebenen Wert einstellt.

2.1.2.1 Die Anfahrpunkte der Räder 1 bis 3 liegen im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Neuzustand des Musterfahrwerks 1 und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 75 \text{ m}$ berechnet.

Verbindungsline g_1 der Mittelpunkte von den die Hyperbeln der Spurkranz-Abchnittsfläche ersetzenden Radien $r_{A,R}$ bei Rad 1 (rückenseitig) und $r_{A,S}$ bei Rad 2 (stirnseitig):

$$g_1 = \sqrt{a_F^2 + (r_{A,R} + r_{A,S} - d_{\min}^*)^2} \quad \text{nach (39)}$$

$$r_{A,R} = 2.200,937 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.1}$$

$$r_{A,S} = 1.468,171 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.1}$$

$$d_{\min}^* = d_{\min} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$g_1 = \sqrt{1.900^2 + (2.200,937 + 1.468,171 - 18,7)^2} = \underline{4.115,274 \text{ mm}}$$

Horizontaler Winkel ϕ zwischen g_1 und der Radachse:

$$\phi = \arcsin(a_F / g_1) = \arcsin(1.900 / 4.115,274) = \underline{27,4965^\circ} \quad \text{nach (40)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 am Rad 1:

$$\alpha_1 = (\phi + \alpha_1) - \phi \quad \text{nach (41)}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \arcsin \left\{ \frac{[(R_2 + r_{A,S})^2 - g_1^2 - (R_1 - r_{A,R})^2]}{2 g_1 (R_1 - r_{A,R})} \right\} \quad \text{nach (42)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 20,0 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.4 für } R_m = 75 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 20,0 + 1,0 = \underline{21,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 74.282,5 + 21,0 = \underline{74.303,5 \text{ mm}}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \arcsin \left\{ \frac{[(74.282,5 + 1.468,171)^2 - 4.115,274^2 - (74.303,5 - 2.200,937)^2]}{2 \cdot 4.115,274 (74.303,5 - 2.200,937)} \right\} = \underline{28,3131^\circ}$$

$$\alpha_1 = 28,3131^\circ - 27,4956^\circ = \mathbf{0,8166^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = \phi - \gamma \quad \text{nach (45)}$$

$$\gamma = \arcsin \left\{ \frac{[(R_1 - r_{A,R}) \cdot \sin(\phi + \alpha_1)]}{(R_2 + r_{A,S})} \right\} \quad \text{nach (46)}$$

$$\gamma = \arcsin \left\{ \frac{[(74.303,5 - 2.200,937) \cdot \sin 28,3131^\circ]}{(74.282,5 + 1.468,171)} \right\}$$

$$\gamma = \underline{26,8366^\circ}$$

$$\alpha_2 = 27,4965^\circ - 26,8366^\circ = \mathbf{0,6599^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_3 am Rad 3:

$$\alpha_3 = \arcsin \left\{ \frac{(R_1 - r_{A,R})_x}{[(R_1 - r_{A,R})_y + r_{A,R} + l_{\max}^* - r_{A,S}]} \right\} \quad \text{nach (47)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_x = (R_1 - r_{A,R}) \cdot \sin \alpha_1 \quad \text{nach (48)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_x = (74.303,5 - 2.200,937) \cdot \sin 0,8166^\circ = \underline{1.027,629 \text{ mm}}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = (R_1 - r_{A,R}) \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{nach (49)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = (74.303,5 - 2.200,937) \cdot \cos 0,8166^\circ = \underline{72.095,240 \text{ mm}}$$

$$\alpha_3 = \arcsin \left[\frac{1.027,629}{(72.095,240 + 2.200,937 + 1.411,8 - 1.468,171)} \right] = \mathbf{0,7930^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_3 im Anfahrpunkt des Rades 3:

$$R_3 = \sqrt{(R_1 - r_{A,R})_x^2 + [(R_1 - r_{A,R})_y + r_{A,R} + l_{\max}^* - r_{A,S}]^2} + r_{A,S} \quad \text{nach (50)}$$

$$R_3 = \sqrt{(1.027,629)^2 + (72.095,240 + 2.200,937 + 1.411,8 - 1.468,171)^2} + 1.468,171$$

$$R_3 = \underline{\mathbf{75.715,09 \text{ mm}}}$$

2.1.2.2 Die Anfahrpunkte der Räder 1, 2 und 4 liegen im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Verschleißgrenzzustand des Musterfahrwerks 1 und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 200 \text{ m}$ berechnet.

Verbindungsline g_1 der Mittelpunkte von den die Hyperbeln der Spurkranz-Abchnittsfläche ersetzenden Radien $r_{A,R}$ bei Rad 1 (rückenseitig) und $r_{A,S}$ bei Rad 2 (stirnseitig):

$$g_1 = \sqrt{a_F^2 + (r_{A,R} + r_{A,S} - d_{\min}^*)^2} \quad \text{nach (39)}$$

$$r_{A,R} = (x_{\ddot{U},R}^2 + d_{\ddot{U},R}^{*2}) / (2 d_{\ddot{U},R}^*) \quad \text{nach (1b)}$$

$$x_{\ddot{U},R} = \sqrt{(0,5 d_M + a^* + h_{\ddot{U},R}^*)^2 - (0,5 d_M + a^*)^2} \quad \text{nach (2b)}$$

$$h_{\ddot{U},R}^* = h - a^* - r_{K,R} [1 - \cos(\arctan n_R)] \quad \text{nach (3b)}$$

$$h_{\ddot{U},R}^* = 18 - 14 - 3,5 [1 - \cos(\arctan 6)] = \underline{1,075 \text{ mm}}$$

$$x_{\ddot{U},R} = \sqrt{(0,5 \cdot 620 + 14 + 1,075)^2 - (0,5 \cdot 620 + 14)^2} = \underline{26,420 \text{ mm}}$$

$$d_{\ddot{U},R}^* = h_{\ddot{U},R}^* / n_R = 1,075 / 6 = \underline{0,179 \text{ mm}} \quad \text{nach (4b)}$$

$$r_{A,R} = (26,420^2 + 0,179^2) / (2 \cdot 0,179) = \underline{1.947,316 \text{ mm}}$$

$$r_{A,S} = (x_{\ddot{U},S}^2 + d_{\ddot{U},S}^{*2}) / (2 d_{\ddot{U},S}^*) \quad \text{nach (1a)}$$

$$x_{\ddot{U},S} = \sqrt{(0,5 d_M + a^* + h_{\ddot{U},S}^*)^2 - (0,5 d_M + a^*)^2} \quad \text{nach (2a)}$$

$$h_{\ddot{U},S}^* = h - a^* - r_{K,S} [1 - \cos(\arctan n_S)] \quad \text{nach (3a)}$$

$$h_{\ddot{U},S}^* = 18 - 14 - 2,0 [1 - \cos(\arctan 6)] = \underline{2,329 \text{ mm}}$$

$$x_{\ddot{U},S} = \sqrt{(0,5 \cdot 620 + 14 + 2,329)^2 - (0,5 \cdot 620 + 14)^2} = \underline{38,916 \text{ mm}}$$

$$d_{\ddot{U},S}^* = h_{\ddot{U},S}^* / n_S = 2,329 / 6 = \underline{0,388 \text{ mm}} \quad \text{nach (4a)}$$

$$r_{A,S} = (38,916^2 + 0,388^2) / (2 \cdot 0,388) = \underline{1.951,180 \text{ mm}}$$

$$g_1 = \sqrt{1.900^2 + (1.947,316 + 1.951,180 - 12,5)^2} = \underline{4.325,618 \text{ mm}}$$

Horizontaler Winkel ϕ zwischen g_1 und der Radachse:

$$\phi = \arcsin(a_F / g_1) = \arcsin(1.900 / 4.325,618) = \underline{26,0556^\circ} \quad \text{nach (40)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 am Rad 1:

$$\alpha_1 = (\phi + \alpha_1) - \phi \quad \text{nach (41)}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \arccos \left\{ \frac{[(R_2 + r_{A,S})^2 - g_1^2 - (R_1 - r_{A,R})^2]}{[2 g_1 (R_1 - r_{A,R})]} \right\} \quad \text{nach (42)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 20,0 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.4 f\u00fcr } R_m > 75 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 20,0 + 1,0 = \underline{21,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 199.282,5 + 21,0 = \underline{199.303,5 \text{ mm}}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \arccos \left\{ \frac{[(199.282,5 + 1.951,180)^2 - 4.325,618^2 - (199.303,5 - 1.947,316)^2]}{[2 \cdot 4.325,618 \cdot (199.303,5 - 1.947,316)]} \right\}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \underline{26,5877^\circ}$$

$$\alpha_1 = 26,5877^\circ - 26,0556^\circ = \mathbf{0,5321^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = \phi - \gamma \quad \text{nach (45)}$$

$$\gamma = \arcsin \left[\frac{(R_1 - r_{A,R}) \cdot \sin(\phi + \alpha_1)}{(R_2 + r_{A,S})} \right] \quad \text{nach (46)}$$

$$\gamma = \arcsin \left[\frac{(199.303,5 - 1.947,316) \cdot \sin 26,5877^\circ}{(199.282,5 + 1.951,180)} \right]$$

$$\gamma = \underline{26,0365^\circ}$$

$$\alpha_2 = \phi - \gamma = 26,0556^\circ - 26,0365^\circ = \mathbf{0,0191^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_4 am Rad 4:

$$\alpha_4 = \arctan \left\{ \frac{[a_F - (R_1 - r_{A,R})_x]}{[(R_1 - r_{A,R})_y + r_{A,R} - d_{\min}^* + l_{\min}^*]} \right\} \quad \text{nach (51)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_x = (R_1 - r_{A,R}) \cdot \sin \alpha_1 \quad \text{nach (48)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_x = (199.303,5 - 1.947,316) \cdot \sin 0,5321^\circ = \underline{1.832,867 \text{ mm}}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = (R_1 - r_{A,R}) \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{nach (49)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = (199.303,5 - 1.947,316) \cdot \cos 0,5321^\circ = \underline{197.347,67 \text{ mm}}$$

$$\alpha_4 = \arctan \left[\frac{(1.900 - 1.832,867)}{(197.347,67 + 1.946,028 - 12,5 + 1.403,5)} \right]$$

$$\alpha_4 = \mathbf{0,0192^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_4 im Anfahrpunkt des Rades 4:

$$R_4 = \sqrt{[a_F - (R_1 - r_{A,R})_x]^2 + [(R_1 - r_{A,R})_y + 2 r_{A,R} - d_{\min}^* + l_{\min}^*]^2} - r_{A,R} \quad \text{nach (52)}$$

$$R_4 = \sqrt{(1.900 - 1.832,867)^2 + (197.347,67 + 2 \cdot 1.947,316 - 12,5 + 1.403,5)^2} - 1.947,316$$

$$R_4 = \underline{\mathbf{200.686,0 \text{ mm}}}$$

2.1.2.3 Der Anfahrpunkt des Rades 1 liegt im Bereich der inneren Spurkranz- kuppenabrundung (Ellipsenbereich), die Anfahrpunkte der Räder 2 und 3 liegen im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Neuzustand des Musterfahrwerks 1 und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 27 \text{ m}$ berechnet.

Zur Ermittlung von α_1 und α_2 wird der Wert für $(R_2 + r_{A,S})_y$ nach (53) und (54) errechnet und die beiden Ergebnisse werden so lange iteriert, bis sie gleich sind.

$$1. \quad (R_2 + r_{A,S})_y = R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{\text{EII},1} + d_{K,R} + d_R^* - d_{\text{min}}^* + r_{A,S} \quad \text{nach (53)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\text{max}} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\text{max}} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 22,0 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.4 für } R_m = 27 \text{ m}$$

$$W_{R,\text{max}} = 22,0 + 1,0 = \underline{23,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 26.282,5 + 23,0 = \underline{26.305,5 \text{ mm}}$$

$$\alpha_1 = \underline{2,2676^\circ} \quad \text{(aus der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$y_{\text{EII},1} = b_{\text{EII},R}^2 \cdot \sqrt{1 / (a_{\text{EII},R}^2 \cdot \tan^2 \alpha_1 + b_{\text{EII},R}^2)} \quad \text{aus (23b/24b)}$$

$$y_{\text{EII},1} = 3,0^2 \cdot \sqrt{1 / (16,194^2 \cdot \tan^2 2,2676^\circ + 3,0^2)} = \underline{2,934 \text{ mm}}$$

$$d_{K,R} = 2,541 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_R^* = 1,333 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = 26.305,5 \cdot \cos 2,2676^\circ - 2,934 + 2,541 + 1,333 - 18,7 + 1.468,171$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = \underline{27.735,313 \text{ mm}}$$

$$2. \quad (R_2 + r_{A,S})_y = (R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{nach (54)}$$

$$\alpha_2 = \arcsin \{ [a_F - (R_{1,x} - x_{\text{EII},1} + a_{E,R} - 0,5 l_A)] / (R_2 + r_{A,S}) \} \quad \text{nach (55)}$$

$$R_{1,x} = R_1 \cdot \sin \alpha_1 = 26.305,5 \cdot \sin 2,2676^\circ = \underline{1.040,823 \text{ m}} \quad \text{nach (56)}$$

$$x_{\text{EII},1} = a_{\text{EII},R} \cdot \sqrt{1 - (y_{\text{EII},1}^2 / b_{\text{EII},R}^2)} \quad \text{nach (57b)}$$

$$x_{\text{EII},1} = 16,194 \cdot \sqrt{1 - (2,934^2 / 3,0^2)} = \underline{3,385 \text{ mm}}$$

$$\alpha_2 = \arcsin \{ [1.900 - (1.040,823 - 3,385 + 16,194 - 0,5 \cdot 153,467)] / (26.282,5 + 1.468,171) \} = \underline{1,9062^\circ}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (26.282,5 + 1.468,171) \cdot \cos 1,9062^\circ = \underline{27.735,314 \text{ mm}}$$

$$(R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* - d_{min}^* + r_{A,S}) - [(R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2] = 0 \quad \text{nach (58)}$$

$$27.735,313 - 27.725,314 = 0$$

Damit ist der gewählte Wert für α_1 bestätigt und somit auch der daraus errechnete Wert für α_2 !

Horizontaler Anfahrwinkel α_3 am Rad 3:

$$\alpha_3 = \arctan \left\{ \frac{(R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{EII,R} - 0,5 l_A)}{[(R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 - 2 r_{A,S} + d_{min}^* + l_{max}^*]} \right\} \quad \text{nach (59)}$$

$$\alpha_3 = \arctan \left\{ \frac{(1.040,823 - 3,385 + 16,194 - 0,5 \cdot 153,467)}{[(26.282,5 + 1.468,171) \cdot \cos 1,9062^\circ - 2 \cdot 1.468,171 + 18,7 + 1.411,8]} \right\} = \mathbf{2,1330^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_3 im Anfahrpunkt des Rades 3:

$$R_3 = r_{A,S} + \sqrt{(R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{EII,R} - 0,5 l_A)^2 + [(R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 - 2 r_{A,S} + d_{min}^* + l_{max}^*]^2} \quad \text{nach (71)}$$

$$R_3 = 1.468,17 + \sqrt{(1.040,823 - 3,385 + 16,194 - 0,5 \cdot 153,467)^2 + [(26.282,5 + 1.468,17) \cdot \cos 1,9062^\circ - 2 \cdot 1.468,17 + 18,7 + 1.411,8]^2} = \underline{\mathbf{27.715,828 \text{ mm}}}$$

2.1.2.4 Der Anfahrpunkt des Rades 1 liegt im Bereich der inneren Spurkranzkuppenabrundung (Ellipsenbereich), die Anfahrpunkte der Räder 2 und 4 liegen im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Verschleißgrenzzustand des Musterfahrwerks 1 und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 75 \text{ m}$ berechnet.

Zur Ermittlung von α_1 und α_2 wird der Wert für $(R_2 + r_{A,S})_y$ nach (53) und (54) errechnet und die beiden Ergebnisse werden so lange iteriert, bis sie gleich sind.

$$1. \quad (R_2 + r_{A,S})_y = R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* - d_{min}^* + r_{A,S} \quad \text{nach (53)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 20,0 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.4 für } R_m = 75 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 20,0 + 1,0 = \underline{21,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 74.282,5 + 21,0 = \underline{74.303,5 \text{ mm}}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{0,9981^\circ} \quad (\text{aus der vorab durchgeführten Iteration})$$

$$y_{E,1} = b_{E,R} \cdot \sqrt{1 / (a_{E,R}^2 \cdot \tan^2 \alpha_1 + b_{E,R}^2)} \quad \text{aus (23b/24b)}$$

$$y_{E,1} = 3,5^2 \cdot \sqrt{1 / (33,062^2 \cdot \tan^2 0,9942^\circ + 3,5^2)} = \underline{3,454 \text{ mm}}$$

$$d_{K,R} = r_{K,R} \cdot \tan (0,5 \text{ arc tan } n_R) \quad \text{nach (30b)}$$

$$d_{K,R} = 3,5 \cdot \tan (0,5 \text{ arc tan } 6) = \underline{2,965 \text{ mm}}$$

$$d_R^* = (h - a^*) / n_R = (18 - 14) / 6 = \underline{0,667 \text{ mm}} \quad \text{nach (31b)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = 74.303,5 \cdot \cos 0,9981^\circ - 3,454 + 2,965 + 0,667 - 12,5 + 1.951,180$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = \underline{76.231,085 \text{ mm}}$$

$$2. \quad (R_2 + r_{A,S})_y = (R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{nach (54)}$$

$$\alpha_2 = \text{arc sin} \{ [a_F - (R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{E,R} - 0,5 l_A)] / (R_2 + r_{A,S}) \} \quad \text{nach (55)}$$

$$R_{1,x} = R_1 \cdot \sin \alpha_1 = 74.303,5 \cdot \sin 0,9981^\circ = \underline{1.294,311 \text{ m}} \quad \text{nach (56)}$$

$$x_{EII,1} = a_{EII,R} \cdot \sqrt{1 - (y_{EII,1}^2 / b_{EII,R}^2)} \quad \text{nach (57b)}$$

$$x_{EII,1} = 33,062 \cdot \sqrt{1 - (3,454^2 / 3,5^2)} = \underline{5,369 \text{ mm}}$$

$$\alpha_2 = \text{arc sin} \{ [1.900 - (1.294,311 - 5,369 + 33,062 - 0,5 \cdot 102,137)] / (74.282,5 + 1.951,180) \} = \mathbf{0,4728^\circ}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (74.282,5 + 1.951,180) \cdot \cos 0,4728^\circ = \underline{76.231,085 \text{ mm}}$$

$$(R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* - d_{\min}^* + r_{A,S}) - [(R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2] = 0 \quad \text{nach (58)}$$

$$76.231,085 - 76.231,085 = \mathbf{0}$$

Damit ist der gewählte Wert für α_1 bestätigt und somit auch der daraus errechnete Wert für α_2 !

Horizontaler Anfahrwinkel α_4 am Rad 4:

$$\alpha_4 = \arctan \left\{ \frac{[a_F - (R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{EII,R} - 0,5 l_A)]}{[(R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 - r_{A,S} + l_{\min}^* + r_{A,R}]} \right\} \quad \text{nach (61)}$$

$$\alpha_4 = \arctan \left\{ \frac{[1.900 - (1.294,311 - 5,369 + 33,062 - 0,5 \cdot 102,137)]}{[(74.282,5 + 1.951,180) \cdot \cos 0,4728^\circ - 1.951,180 + 1.403,5 + 1.947,316]} \right\} = \mathbf{0,4643^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_4 im Anfahrpunkt des Rades 4:

$$R_4 = \sqrt{[a_F - (R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{EII,R} - 0,5 l_A)]^2 + [(R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 - r_{A,S} + l_{\min}^* + r_{A,R}]^2} - r_{A,R} \quad \text{nach (62)}$$

$$R_4 = \sqrt{[1.900 - (1.294,311 - 5,369 + 33,062 - 0,5 \cdot 102,137)]^2 + [(74.282,5 + 1.951,180) \cdot \cos 0,4728 - 1.951,180 + 1.403,5 + 1.947,316]^2} - 1.947,316 = \mathbf{\underline{75.685,953 \text{ mm}}}$$

2.1.2.5 Die Anfahrpunkte der Räder 1 und 3 liegen im Bereich der Spurkranz-kuppenabrundung (Ellipsenbereich), der Anfahrpunkt des Rades 2 liegt im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Neuzustand des Musterfahrwerks 1 und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 22 \text{ m}$ berechnet.

Zur Ermittlung von α_1 und α_2 wird der Wert für $(R_2 + r_{A,S})_y$ nach (53) und (54) errechnet und die beiden Ergebnisse werden so lange iteriert, bis sie gleich sind.

$$1. \quad (R_2 + r_{A,S})_y = R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* - d_{\min}^* + r_{A,S} \quad \text{nach (53)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 23,0 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.4 für } R_m = 22 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 23,0 + 1,0 = \mathbf{\underline{24,0 \text{ mm}}}$$

$$R_1 = 21.282,5 + 24,0 = \mathbf{\underline{21.306,5 \text{ mm}}}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{2,7880^\circ} \quad \text{(aus der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$y_{EII,1} = b_{EII,R}^2 \cdot \sqrt{1 / (a_{EII,R}^2 \cdot \tan^2 \alpha_1 + b_{EII,R}^2)} \quad \text{aus (23b/24b)}$$

$$y_{EII,1} = 3,0^2 \cdot \sqrt{1 / (16,194^2 \cdot \tan^2 2,7880^\circ + 3,0^2)} = \mathbf{\underline{2,901 \text{ mm}}}$$

$$d_{K,R} = 2,541 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_R^* = 1,333 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = 21.306,5 \cdot \cos 2,7880^\circ - 2,901 + 2,541 + 1,333 - 18,7 + 1.468,171$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = \underline{22.731,725 \text{ mm}}$$

$$2. \quad (R_2 + r_{A,S})_y = (R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{nach (54)}$$

$$\alpha_2 = \arcsin \{ [(a_F - (R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{EII,R} - 0,5 l_A)) / (R_2 + r_{A,S})] \} \quad \text{nach (55)}$$

$$R_{1,x} = R_1 \cdot \sin \alpha_1 = 21.306,5 \cdot \sin 2,7880^\circ = \underline{1.036,364 \text{ mm}} \quad \text{nach (56)}$$

$$x_{EII,1} = a_{EII,R} \cdot \sqrt{1 - (y_{EII,1}^2 / b_{EII,R}^2)} \quad \text{nach (57b)}$$

$$x_{EII,1} = 16,194 \cdot \sqrt{1 - (2,901^2 / 3,0^2)} = \underline{4,117 \text{ mm}}$$

$$\alpha_2 = \arcsin \{ [(1.900 - (1.036,364 - 4,117 + 16,194 - 0,5 \cdot 153,467)) / (21.282,5 + 1.468,171)] \} = \underline{2,3385^\circ}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (21.282,5 + 1.468,171) \cdot \cos 2,3385^\circ = \underline{22.731,725 \text{ mm}}$$

$$(R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{E,1} + d_{K,R} + d_R^* - d_{\min}^* + r_{A,S}) - [(R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2] = 0 \quad \text{nach (58)}$$

$$22.731,725 - 22.731,725 = 0$$

Damit ist der gewählte Wert für α_1 bestätigt und somit auch der daraus errechnete Wert für α_2 !

Zur Ermittlung von α_3 wird der Wert für R_3 nach (63) und (64) errechnet und die beiden Ergebnisse werden so lange iteriert, bis sie gleich sind.

$$1. \quad R_3 = (R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* + l_{\max}^* - d_S^* - d_{K,S} + y_{EII,3}) / \cos \alpha_3 \quad \text{nach (63)}$$

$$d_S^* = 2,000 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_{K,S} = 2,342 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$y_{EII,3} = b_{EII,R}^2 \cdot \sqrt{1 / (a_{EII,S}^2 \cdot \tan^2 \alpha_3 + b_{EII,S}^2)} \quad \text{aus (23a/24a)}$$

$$\alpha_3 = \underline{2,6143^\circ} \quad \text{(aus der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$y_{EII,3} = 3,0^2 \cdot \sqrt{1 / (16,194^2 \cdot \tan^2 2,6143^\circ + 3,0^2)} = \underline{2,913 \text{ mm}}$$

$$R_3 = (21.306,5 \cdot \cos 2,7880^\circ - 2,901 + 2,541 + 1,333 + 1.411,8 - 2,000 - 2,342 + 2,913) / \cos 2,6143^\circ = \underline{\underline{22.716,266 \text{ mm}}}$$

$$2. \quad R_3 = (R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{EII,R} - a_{EII,S} + x_{EII,3}) / \sin \alpha_3 \quad \text{nach (64)}$$

$$x_{EII,3} = a_{EII,S} \cdot \sqrt{1 - (y_{EII,3}^2 / b_{EII,S}^2)} \quad \text{nach (57a)}$$

$$x_{EII,3} = 16,194 \cdot \sqrt{1 - (2,913^2 / 3,0^2)} = \underline{\underline{3,875 \text{ mm}}}$$

$$R_3 = (1.036,364 - 4,117 + 16,194 - 16,194 + 3,875) / \sin 2,6143^\circ = \underline{\underline{22.716,266 \text{ mm}}}$$

$$[(R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* + l_{\max}^* - d_S^* - d_{K,S} + y_{EII,3}) \cdot \cos \alpha_3] - [(R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{EII,R} - a_{EII,S} + x_{EII,3}) \cdot \sin \alpha_3] = 0 \quad \text{nach (65)}$$

$$22.716,266 - 22.716,266 = 0$$

Damit ist der gewählte Wert für α_3 bestätigt und somit auch der daraus errechnete Wert für R_3 !

2.1.2.6 Die Anfahrpunkte der Räder 1 und 4 liegen im Bereich der Spurkranz-kuppenabrundung (Ellipsenbereich), der Anfahrpunkt des Rades 2 liegt im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Verschleißgrenzzustand des Musterfahrwerks 1 und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 50 \text{ m}$ berechnet.

Zur Ermittlung von α_1 und α_2 wird der Wert für $(R_2 + r_{A,S})_y$ nach (53) und (54) errechnet und die beiden Ergebnisse werden so lange iteriert, bis sie gleich sind.

$$1. \quad (R_2 + r_{A,S})_y = R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* - d_{\min}^* + r_{A,S} \quad \text{nach (53)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 21,0 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.4 für } R_m > 37 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 21,0 + 1,0 = \underline{22,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 49.282,5 + 22,0 = \underline{49.304,5 \text{ mm}}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{1,4023^\circ}$$
 (aus der vorab durchgeführten Iteration)

$$y_{EII,1} = b_{EII,R} \cdot \sqrt{1 / (a_{EII,R}^2 \cdot \tan^2 \alpha_1 + b_{EII,R}^2)} \quad \text{aus (23b/24b)}$$

$$y_{EII,1} = 3,5^2 \cdot \sqrt{1 / (33,062^2 \cdot \tan^2 1,4023^\circ + 3,5^2)} = \underline{3,410 \text{ mm}}$$

$$d_{K,R} = 2,965 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.4}$$

$$d_R^* = 0,667 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.4}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = 49.304,5 \cdot \cos 1,4023^\circ - 3,410 + 2,965 + 0,667 - 12,5 + 1.951,180$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = \underline{51.228,637 \text{ mm}}$$

$$2. \quad (R_2 + r_{A,S})_y = (R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{nach (54)}$$

$$\alpha_2 = \arcsin \{ [a_F - (R_{1,x} - x_{EII,1} + a_{EII,R} - 0,5 l_A)] / (R_2 + r_{A,S}) \} \quad \text{nach (55)}$$

$$R_{1,x} = R_1 \cdot \sin \alpha_1 = 49.304,5 \cdot \sin 1,4023^\circ = \underline{1.206,595 \text{ mm}} \quad \text{nach (56)}$$

$$x_{EII,1} = a_{EII,R} \cdot \sqrt{1 - (y_{EII,1}^2 / b_{EII,R}^2)} \quad \text{nach (57b)}$$

$$x_{EII,1} = 33,062 \cdot \sqrt{1 - (3,410^2 / 3,5^2)} = \underline{7,448 \text{ mm}}$$

$$l_A = 2 \sqrt{d_M (h - a^*) + h^2 - a^{*2}} \quad \text{nach (18)}$$

$$l_A = 2 \sqrt{620 \cdot (18 - 14) + 18^2 - 14^2} = \underline{102,137 \text{ mm}}$$

$$\alpha_2 = \arcsin \{ [1.900 - (1.206,595 - 7,448 + 33,062 - 0,5 \cdot 102,137)] / (49.282,5 + 1.951,180) \} = \mathbf{0,8040^\circ}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (49.282,5 + 1.951,180) \cdot \cos 0,8040^\circ = \underline{51.228,637 \text{ mm}}$$

$$(R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* - d_{\min}^* + r_{A,S}) - [(R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2] = 0 \quad \text{nach (58)}$$

$$51.228,637 - 51.228,637 = \mathbf{0}$$

Damit ist der gewählte Wert für α_1 bestätigt und somit auch der daraus errechnete Wert für α_2 !

Der Wert für α_4 wird durch Iteration ermittelt über zwei Varianten für die Berechnung des Gleisbogenhalbmessers R_4 :

$$1. \quad R_4 = (R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + 2 d_{K,R} + 2 d_R^* - d_{\min} + l_{\min}^* - y_{EII,4}) \cdot \cos \alpha_4 \quad \text{nach (66)}$$

$$y_{EII,4} = b_{EII,R}^2 \cdot \sqrt{1 / (a_{EII,R}^2 \cdot \tan^2 \alpha_4 + b_{EII,R}^2)} \quad \text{aus (23a/24a)}$$

$$\alpha_4 = \mathbf{0,7875^\circ} \quad (\text{aus der vorab durchgef\u00fchrten Iteration})$$

$$y_{EII,4} = 3,5^2 \cdot \sqrt{1 / (33,062^2 \cdot \tan^2 0,7875^\circ + 3,5^2)} = \underline{3,471 \text{ mm}}$$

$$R_4 = (49.304,5 \cdot \cos 1,4023^\circ - 3,410 + 2 \cdot 2,965 + 2 \cdot 0,667 - 12,5 + 1.403,5 - 3,471) / \cos 0,7875^\circ = \underline{\mathbf{50.685,904 \text{ mm}}}$$

$$2. \quad R_4 = (a_F - R_{1,x} + x_{EII,1} - x_{EII,4}) \cdot \sin \alpha_4 \quad \text{nach (67)}$$

$$x_{EII,4} = a_{EII,R} \cdot \sqrt{1 - (y_{EII,4}^2 / b_{EII,R}^2)} \quad \text{nach (57b)}$$

$$x_{EII,4} = 33,062 \cdot \sqrt{1 - (3,471^2 / 3,5^2)} = \underline{4,257 \text{ mm}}$$

$$R_4 = (1.900 - 1.206,595 + 7,448 - 4,257) / \sin 0,7875^\circ = \underline{\mathbf{50.685,904 \text{ mm}}}$$

$$[(R_1 \cdot \cos \alpha_1 - y_{EII,1} + 2 d_{K,R} + 2 d_R^* - d_{\min} + l_{\min}^* - y_{EII,4}) \cdot \cos \alpha_4] - (a_F - R_{1,x} + x_{EII,1} - x_{EII,4}) \cdot \sin \alpha_4 = 0 \quad \text{nach (68)}$$

$$50.685,904 - 50.685,904 = \mathbf{0}$$

Damit ist der gew\u00e4hlte Wert f\u00fcr α_4 best\u00e4tigt und somit auch der daraus errechnete Wert f\u00fcr R_4 !

2.1.2.7 Die Anfahrpunkte der R\u00e4der 1 bis 3 liegen im Bereich der Spurkranz-kuppenabrundung (Ellipsenbereich)

Beispielhaft werden die Werte f\u00fcr den Neuzustand des Musterfahrwerks 1 und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = \mathbf{19 \text{ m}}$ berechnet.

Verbindungsgerade vom Ber\u00fchrpunkt 2 zum Schnittpunkt des Gleisbogenhalbmessers R_1 im Ber\u00fchrpunkt 1 mit dem Gleisbogen R_2 :

$$g_2 = \sqrt{g_{2,x}^2 + g_{2,y}^2} \quad \text{nach (72)}$$

$$g_{2,x} = a_F + x_1 - W_{R,x} - x_2 \quad \text{nach (73)}$$

$$x_1 = 0,5 l_A - a_{EII,R} + x_{EII,1} \quad \text{nach (74b)}$$

$$x_{EII,1} = a_{EII,R} \cdot \sqrt{1 - (y_{EII,1}^2 / b_{EII,R}^2)} \quad \text{nach (57b)}$$

$$y_{EII,1} = b_{EII,R} \cdot \sqrt{1 / (a_{EII,R}^2 \cdot \tan^2 \alpha_1 + b_{EII,R}^2)} \quad \text{aus (23b/24b)}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{3,2400^\circ} \quad \text{(aus der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$y_{EII,1} = 3,0^2 \cdot \sqrt{1 / (16,194^2 \cdot \tan^2 3,2400^\circ + 3,0^2)} = \underline{2,869 \text{ mm}}$$

$$x_{EII,1} = 16,194 \cdot \sqrt{1 - (2,869^2 / 3,0^2)} = \underline{4,733 \text{ mm}}$$

$$x_1 = 0,5 \cdot 153,467 - 16,194 + 4,733 = \underline{65,272 \text{ mm}}$$

$$W_{R,x} = W_{R,max} \cdot \sin \alpha_1 \quad \text{nach (75)}$$

$$W_{R,max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 24,0 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.4 für } R_m = 19 \text{ m}$$

$$W_{R,max} = 24,0 + 1,0 = \underline{25,0 \text{ mm}}$$

$$W_{R,x} = 25,0 \cdot \sin 3,2400^\circ = \underline{1,413 \text{ mm}}$$

$$x_2 = 0,5 l_A - a_{EII,S} + x_{EII,2} \quad \text{nach (74a)}$$

$$x_{EII,2} = a_{E,S} \cdot \sqrt{1 - (y_{E,2}^2 / b_{E,S}^2)} \quad \text{nach (57a)}$$

$$y_{EII,2} = b_{EII,R} \cdot \sqrt{1 / (a_{EII,S}^2 \cdot \tan^2 \alpha_2 + b_{EII,S}^2)} \quad \text{aus (23a/24a)}$$

$$\alpha_2 = \mathbf{2,7150^\circ} \quad \text{(aus der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$y_{EII,2} = 3,0^2 \cdot \sqrt{1 / (16,194^2 \cdot \tan^2 2,7150^\circ + 3,0^2)} = \underline{2,906 \text{ mm}}$$

$$x_{EII,2} = 16,194 \cdot \sqrt{1 - (2,906^2 / 3,0^2)} = \underline{4,016 \text{ mm}}$$

$$x_2 = 0,5 \cdot 153,467 - 16,194 + 4,016 = \underline{64,555 \text{ m}}$$

$$g_{2,x} = 1.900 + 65,272 - 1,413 - 4,016 = \underline{1.899,304 \text{ mm}}$$

$$g_{2,y} = W_{R,y} - y_{EII,1} - d_{K,G,min} - y_{EII,2} \quad \text{nach (76)}$$

$$W_{R,y} = W_{R,max} \cdot \cos \alpha_1 = 25,0 \cdot \cos 3,2400^\circ = \underline{24,960 \text{ mm}} \quad \text{nach (77)}$$

$$d_{K,G,min} = d_{min}^* - d_R^* - d_{K,R} - d_{K,S} - d_S^* \quad \text{nach (78)}$$

$$d_R^* = 1,333 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_{K,R} = 2,541 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_{K,S} = 2,342 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_S^* = 2,000 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_{K,G,\min} = 18,7 - 1,333 - 2,541 - 2,342 - 2,000 = \underline{10,483 \text{ mm}}$$

$$g_{2,y} = 24,960 - 2,869 - 10,483 - 2,906 = \underline{8,702 \text{ mm}}$$

$$g_2 = \sqrt{1.899,304^2 + 8,702^2} = \underline{1.899,324 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon = \arctan(g_{2,y} / g_{2,x}) = \arctan(8,702 / 1.899,304) = \underline{0,2625^\circ} \quad \text{nach (79)}$$

$$(\alpha_1 - \varepsilon) - (\alpha_2 + \varepsilon) = (3,2400^\circ - 0,2625^\circ) - (2,7150^\circ + 0,2625^\circ) = \mathbf{0} \quad \text{nach (80)}$$

$$R_2 = 0,5 g_2 / \sin(\alpha_1 - \varepsilon) \quad \text{nach (70)}$$

$$R_2 = 0,5 \cdot 1.899,304 / \sin(3,2400^\circ - 0,2625^\circ) = \underline{18.282,5 \text{ mm}}$$

Der horizontale Anfahrwinkel α_3 und der Gleisbogenhalbmesser R_3 müssen nun ebenfalls über Iteration bestimmt werden. Mit einem gewählten Wert für $x_{EII,3}$ werden $y_{EII,3}$ errechnet sowie die x- und y-Koordinaten des Gleisbogenhalbmessers im Berührungspunkt am Rad 3 ($R_{3,x} / R_{3,y}$). Aus der Subtraktion von $R_{3,x}$ mit einem weiteren Wert für $R_{3,x}$, der über eine zweite Variante berechnet wurde, erhält man beim Subtraktionsergebnis Null den „richtigen“ Wert für α_3 .

$$1. \quad R_{3,x} = R_1 \cdot \sin \alpha_1 - x_1 + 0,5 l_A - a_{EII,S} + x_{EII,3} \quad \text{nach (81)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} = 18.282,5 + 25,0 = \underline{18.307,5 \text{ mm}} \quad \text{nach (43)}$$

$$x_{EII,3} = 4,383 \text{ mm} \quad (\text{aus der vorab durchgeführten Iteration})$$

$$R_{3,x} = 18.307,5 \cdot \sin 3,2400^\circ - 65,272 + 0,5 \cdot 153,467 - 16,194 + 4,383 = \underline{1.025,597 \text{ mm}}$$

$$2. \quad R_{3,x} = \sqrt{R_{3,x}^2 + R_{3,y}^2} \cdot \sin \arctan [(b_{EII,S}^2 / a_{EII,S}^2) \cdot (x_{EII,3} / y_{EII,3})] \quad \text{nach (82)}$$

$$R_{3,y} = y_{EII,3} + R_{1,y} - y_{EII,1} + d_{K,R} + d_R^* + l_{\max}^* - d_{K,S} - d_S^* \quad \text{nach (83)}$$

$$y_{EII,3} = b_{EII,S} \cdot \sqrt{1 - (x_{EII,3}^2 / a_{EII,S}^2)} \quad \text{nach (23a)}$$

$$y_{EII,3} = 3,0 \cdot \sqrt{1 - (4,383^2 / 16,194^2)} = \underline{2,888 \text{ mm}}$$

$$R_{1,y} = R_1 \cdot \cos \alpha_1 = 18.307,5 \cdot \cos 3,2400^\circ = \quad \text{nach (84)}$$

$$R_{1,y} = \underline{18.278,236 \text{ mm}}$$

$$R_{3,y} = 2,888 + 18.278,236 - 2,869 + 2,541 + 1,333 + 1.411,8 - 2,342 - 2,0$$

$$R_{3,y} = \underline{19.689,587 \text{ mm}}$$

$$R_{3,x} = \sqrt{1.025,597^2 + 19.689,587^2} \cdot \sin \arctan [(3,0^2 / 16,194^2) \cdot (4,383 / 2,888)]$$

$$R_{3,x} = \underline{1.025,597}$$

$$\begin{aligned} & (R_1 \cdot \sin \alpha_1 - x_1 + 0,5 l_A - a_{EII,S} + x_{EII,3} + R_{3,x}) - \\ & \quad \sqrt{R_{3,x}^2 + R_{3,y}^2} \cdot \sin \arctan [(b_{EII,S}^2 / a_{EII,S}^2) \cdot (x_{EII,3} / y_{EII,3})] = 0 \quad \text{nach (85)} \\ & = 1.025,597 - 1.025,597 = \mathbf{0} \end{aligned}$$

Gleisbogenhalbmesser R_3 im Anfahrpunkt des Rades 3:

$$R_3 = \sqrt{R_{3,x}^2 + R_{3,y}^2} = \sqrt{1.025,597^2 + 19.689,587^2} = \underline{\mathbf{19.716,28 \text{ mm}}} \quad \text{nach (25)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_3 im Anfahrpunkt des Rades 3:

$$\alpha_3 = \arctan (R_{3,x} / R_{3,y}) = \arctan (1.025,597 / 19.689,587) = \mathbf{2,9817} \quad \text{nach (86)}$$

2.1.2.8 Die Anfahrpunkte der Räder 1, 2 und 4 liegen im Bereich der Spurranzkuppenabrundung (Ellipsenbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Verschleißgrenzzustand des Musterfahrwerks 1 und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = \mathbf{19 \text{ m}}$ berechnet.

Verbindungsgerade vom Berührungspunkt 2 zum Schnittpunkt des Gleisbogenhalbmessers R_1 im Berührungspunkt 1 mit dem Gleisbogen R_2 :

$$g_2 = \sqrt{g_{2,x}^2 + g_{2,y}^2} \quad \text{nach (72)}$$

$$g_{2,x} = a_F + x_1 - W_{R,x} - x_2 \quad \text{nach (73)}$$

$$x_1 = 0,5 l_A - a_{EII,R} + x_{EII,1} \quad \text{nach (74b)}$$

$$x_{EII,1} = a_{EII,R} \cdot \sqrt{1 - (y_{EII,1}^2 / b_{EII,R}^2)} \quad \text{nach (57b)}$$

$$y_{EII,1} = b_{EII,R} \cdot \sqrt{1 / (a_{EII,R}^2 \cdot \tan^2 \alpha_1 + b_{EII,R}^2)} \quad \text{aus (23b/24b)}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{3,3745^\circ} \quad \text{(aus der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$y_{EII,1} = 3,5^2 \cdot \sqrt{1 / (33,062^2 \cdot \tan^2 3,3745^\circ + 3,5^2)} = \underline{3,058 \text{ mm}}$$

$$x_{EII,1} = 33,062 \cdot \sqrt{1 - (3,058^2 / 3,5^2)} = \underline{16,088 \text{ mm}}$$

$$x_1 = 0,5 \cdot 102,137 - 33,062 + 16,088 = \underline{34,095 \text{ mm}}$$

$$W_{R,x} = W_{R,max} \cdot \sin \alpha_1 \quad \text{nach (75)}$$

$$W_{R,max} = 25,0 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.7}$$

$$W_{R,x} = 25,0 \cdot \sin 3,3745^\circ = \underline{1,472 \text{ mm}}$$

$$x_2 = 0,5 l_A - a_{EII,S} + x_{E,2} \quad \text{nach (74b)}$$

$$x_{EII,2} = a_{EII,S} \cdot \sqrt{1 - (y_{EII,2}^2 / b_{EII,S}^2)} \quad \text{nach (57a)}$$

$$y_{EII,2} = b_{EII,S} \cdot \sqrt{1 / (a_{EII,S}^2 \cdot \tan^2 \alpha_2 + b_{EII,S}^2)} \quad \text{aus (23a/24a)}$$

$$\alpha_2 = \mathbf{2,5570^\circ} \quad \text{(aus der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$y_{EII,2} = 2,0^2 \cdot \sqrt{1 / (15,013^2 \cdot \tan^2 2,5570^\circ + 2,0^2)} = \underline{1,896 \text{ mm}}$$

$$x_{EII,2} = 15,013 \cdot \sqrt{1 - (1,896^2 / 2,0^2)} = \underline{4,772 \text{ mm}}$$

$$x_2 = 0,5 \cdot 102,137 - 15,013 + 4,772 = \underline{40,827 \text{ m}}$$

$$g_{2,x} = 1.900 + 34,095 - 1,472 - 40,827 = \underline{1.891,796 \text{ mm}}$$

$$g_{2,y} = W_{R,y} - y_{EII,1} - d_{K,G,min} - y_{EII,2} \quad \text{nach (76)}$$

$$W_{R,y} = W_{R,max} \cdot \cos \alpha_1 = 25,0 \cdot \cos 3,3745^\circ = \underline{24,957 \text{ mm}} \quad \text{nach (77)}$$

$$d_{K,G,min} = d_{min}^* - d_R^* - d_{K,R} - d_{K,S} - d_S^* \quad \text{nach (78)}$$

$$d_R^* = 0,667 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.4}$$

$$d_{K,R} = 2,965 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.4}$$

$$d_{K,S} = r_{K,S} \cdot \tan (0,5 \text{ arc tan } n_S) \quad \text{nach (29a)}$$

$$d_{K,S} = 2,0 \cdot \tan (0,5 \text{ arc tan } 6) = \underline{1,694 \text{ mm}}$$

$$d_S^* = (h - a^*) / n_S = (18 - 14) / 6 = \underline{0,667 \text{ mm}} \quad \text{nach (30a)}$$

$$d_{K,G,\min} = 12,5 - 0,667 - 2,965 - 1,694 - 0,667 = \underline{6,507 \text{ mm}}$$

$$g_{2,y} = 24,957 - 3,058 - 6,507 - 1,896 = \underline{13,495 \text{ mm}}$$

$$g_2 = \sqrt{1.891,796^2 + 13,495^2} = \underline{1.891,845 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon = \arctan (g_{2,y} / g_{2,x}) = \arctan (13,495 / 1.891,796) = \underline{0,4087^\circ} \quad \text{nach (79)}$$

$$(\alpha_1 - \varepsilon) - (\alpha_2 + \varepsilon) = (3,3745^\circ - 0,4087^\circ) - (2,5570^\circ + 0,4087^\circ) = \mathbf{0} \quad \text{nach (80)}$$

$$R_2 = 0,5 g_2 / \sin (\alpha_1 - \varepsilon) \quad \text{nach (70)}$$

$$R_2 = 0,5 \cdot 1.899,304 / \sin (3,3745^\circ - 0,4087^\circ) = \underline{18.282,5 \text{ mm}}$$

Der horizontale Anfahrwinkel α_4 und der Gleisbogenhalbmesser R_4 müssen nun ebenfalls über Iteration bestimmt werden. Mit einem gewählten Wert für $x_{EII,4}$ werden $y_{EII,4}$ errechnet sowie die x- und y-Koordinaten des Gleisbogenhalbmessers im Berührungspunkt am Rad 4 ($R_{4,x} / R_{4,y}$). Aus der Subtraktion von $R_{4,x}$ mit einem weiteren Wert für $R_{4,x}$, der über eine zweite Variante berechnet wurde, erhält man beim Subtraktionsergebnis Null den „richtigen“ Wert für α_4 .

$$1. \quad R_{4,x} = R_2 \cdot \sin \alpha_2 + x_2 - 0,5 l_A + a_{EII,R} - x_{EII,4} \quad \text{nach (87)}$$

$$x_{EII,4} = 12,195 \text{ mm (aus der vorab durchgeführten Iteration)}$$

$$R_{4,x} = 18.282,5 \cdot \sin 2,5570^\circ + 40,827 - 0,5 \cdot 102,137 + 33,062 - 12,195$$

$$R_{4,x} = \underline{826,283 \text{ mm}}$$

$$2. \quad R_{4,x} = \sqrt{R_{4,x}^2 + R_{4,y}^2} \cdot \sin \arctan [(b_{EII,R}^2 / a_{EII,R}^2) \cdot (x_{EII,4} / y_{EII,4})] \quad \text{nach (88)}$$

$$R_{4,y} = R_{1,y} - y_{EII,1} + 2 d_{K,R} + 2 d_R^* - d_{\min}^* + l_{\min}^* - y_{EII,4} \quad \text{nach (89)}$$

$$y_{EII,4} = b_{EII,R} \cdot \sqrt{1 - (x_{EII,4}^2 / a_{EII,R}^2)} \quad \text{nach (23b)}$$

$$y_{EII,4} = 3,5 \cdot \sqrt{1 - (12,195^2 / 33,062^2)} = \underline{3,253 \text{ mm}}$$

$$R_{1,y} = R_1 \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{nach (84)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} = 18.282,5 + 25,0 = \underline{18.307,5 \text{ mm}} \quad \text{nach (43)}$$

$$R_{1,y} = 18.307,5 \cdot \cos 3,3745^\circ = \underline{18.275,757 \text{ mm}}$$

$$R_{4,y} = 18.275,757 - 3,058 + 2 \cdot 2,965 + 2 \cdot 0,667 - 12,5 + 1.403,5 - 3,253$$

$$R_{4,y} = \underline{19.667,691 \text{ mm}}$$

$$R_{4,x} = \sqrt{826,283^2 + 19.667,691^2} \cdot \sin \arctan [(3,5^2 / 33,062^2) \cdot (12,195 / 3,253)]$$

$$R_{4,x} = \underline{826,283 \text{ mm}}$$

$$(R_2 \cdot \sin \alpha_2 + x_2 - 0,5 l_A + a_{EII,R} - x_{EII,4}) -$$

$$\sqrt{R_{4,x}^2 + R_{4,y}^2} \cdot \sin \arctan [(b_{EII,R}^2 / a_{EII,R}^2) \cdot (x_{EII,4} / y_{EII,4})] = 0 \quad \text{nach (90)}$$

$$= 826,283 - 826,283 = 0$$

Gleisbogenhalbmesser R_4 im Anfahrpunkt des Rades 4:

$$R_4 = \sqrt{R_{4,x}^2 + R_{4,y}^2} = \sqrt{826,283^2 + 19.667,691^2} = \underline{19.685,04 \text{ mm}} \quad \text{nach (27)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_4 im Anfahrpunkt des Rades 4:

$$\alpha_4 = \arctan (R_{4,x} / R_{4,y}) = \arctan (826,283 / 19.667,691) = \underline{2,4057} \quad \text{nach (86)}$$

2.1.2.9 Leitweiten über Herzstückrille bzw. über die Rille am Radlenker

In den unter 2.1.2.1 bis 2.1.2.8 gerechneten Beispielen sind für die mittleren Gleisbogenhalbmesser 19 m und 75 m die Werte für alle vier Räder eines Fahrwerks des Musterfahrzeugs 1 ermittelt worden. Deshalb können für diese Radien auch beispielhaft die folgenden Werte berechnet werden:

Mindestens erforderliche vorläufige Leitweite über Herzstückrille:

$$L_{H,\min}^{*'} = R_3 - R_1 \quad \text{nach (91)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19 \text{ m}$:

$$L_{H,\min}^{*'} = 19.716,28 - 18.307,50 = \underline{1.408,779 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$L_{H,\min}^{*'} = 75.715,09 - 74.303,50 = \underline{1.411,588 \text{ mm}}$$

Größte zulässige vorläufige Leitweite über die Rille am Radlenker:

$$L_{R,\max}^{*'} = R_4 - R_2 \quad \text{nach (92)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$L_{R,\max}^{*'} = 19.685,04 - 18.282,50 = \underline{1.402,541 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$L_{R,\max}^{*'} = 75.685,95 - 74.282,50 = \underline{1.403,453 \text{ mm}}$$

Mindestens erforderliche Leitweite über Herzstückrille:

$$L_{H,\min}^* = L_{H,\min}^{*'} + Q_a \quad \text{nach (93)}$$

$Q_a = 2$ mm (aus betrieblichen Erfahrungen bzw. Messungen)

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$L_{H,\min}^* = 1.408,779 + 2 = \underline{1.410,779 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$L_{H,\min}^* = 1.411,588 + 2 = \underline{1.413,588 \text{ mm}}$$

Größte zulässige Leitweite über die Rille am Radlenker:

$$L_{R,\max}^* = L_{R,\max}^{*'} - Q_i \quad \text{nach (94)}$$

$Q_i = 1$ mm (aus betrieblichen Erfahrungen bzw. Messungen)

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$L_{R,\max}^* = 1.402,541 - 1 = \underline{1.401,541 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$L_{R,\max}^* = 1.403,453 - 1 = \underline{1.402,453 \text{ mm}}$$

2.1.3 Spurweiten im Herzstückbereich

Erforderliche Mindest-Spurweite im Herzstückbereich:

$$S_{\min}^* = L_{H,\min}^* + W_{R,\max}^* \quad \text{nach (95)}$$

Anmerkung: Für $L_{H,\min}^*$ muss der Größtwert aus allen untersuchten Fahrwerken gewählt werden, bei dem Beispiel tritt er beim Musterfahrwerk 1 auf (vgl. Auswertung in Tabelle 3.3).

Nennwert der jeweiligen Spurweite unter Berücksichtigung der negativen Bauteoleranz:

$$S_N^* = S_{\min}^* + |-\Delta S| \quad \text{nach (96)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19 \text{ m}$:

$$L_{H,\min}^* = 1.410,779 \text{ mm}$$

$$W_{R,\max}^* = 25,0 \text{ mm}$$

$$S_{\min}^* = 1.410,779 + 25,0 = 1.435,779 \text{ mm}$$

$$S_N^* = 1.435,779 + |-1,0| = 1.436,779 \rightarrow \underline{\underline{1.437 \text{ mm}}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75 \text{ m}$:

$$L_{H,\min}^* = 1.413,588 \text{ mm}$$

$$W_{R,\max}^* = 21,0 \text{ mm}$$

$$S_{\min}^* = 1.413,588 + 21,0 = \underline{\underline{1.434,588 \text{ mm}}}$$

$$S_N^* = 1.434,588 + |-1,0| = 1.435,588 \rightarrow \underline{\underline{1.436 \text{ mm}}}$$

2.1.4 Herzstück-Rillenweiten

Erforderliche Mindest-Rillenweite am Herzstück:

$$W_{H,\min}^* = S_{\max}^* - L_{R,\max}^* \quad \text{nach (97)}$$

$$S_{\max}^* = S^* + |+\Delta S| \quad \text{nach (98)}$$

Anmerkung: Für $L_{R,\max}^*$ muss der Kleinstwert aus allen untersuchten Fahrwerken gewählt werden, bei dem Beispiel tritt er beim Musterfahrwerk 2 auf (vgl. Auswertung in Tabelle 3.3).

Nennwert der Rillenweite des Herzstücks:

$$W_H^* = W_{H,\min}^* + |-\Delta W| \quad \text{nach (99)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$S_{\max}^* = 1.437 + |+1,0| = \underline{1.438 \text{ mm}}$$

$$L_{R,\max}^* = 1.401,368 \text{ mm}$$

$$W_{H,\min}^* = 1.438 - 1.401,368 = 36,632 \text{ mm}$$

$$W_H^* = 36,632 + |-0| = 36,632 \rightarrow \underline{\mathbf{37 \text{ mm}}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$S_{\max}^* = 1.436 + |+1,0| = \underline{1.437 \text{ mm}}$$

$$L_{R,\max}^* = 1.402,443 \text{ mm}$$

$$W_{H,\min}^* = 1.437 - 1.402,443 = 34,557 \text{ mm}$$

$$W_H^* = 34,557 + |-0| = 34,557 \rightarrow \text{aus Kontinuitätsgründen der Tabelle wurde der errechnete Wert abgerundet auf } \underline{\mathbf{34 \text{ mm}}}$$

Freiraum an der Herzstück-Fahrflanke:

$$\Delta W_{H,Ff} = S_{\min}^* - W_{R,\max}^* - L_{H,\min}^* \quad \text{nach (100)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$\Delta W_{H,Ff} = (1.437 - 1) - 25,0 - 1.410,779 = \underline{\mathbf{0,221 \text{ mm}}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta W_{H,Ff} = (1.436 - 1) - 21,0 - 1.413,588 = \mathbf{0,412 \text{ mm}}$$

Freiraum an der Herzstück-Rillenflanke:

$$\Delta W_{H,Rf} = L_{R,max}^* - S_{max}^* + W_{H,min}^* \quad \text{nach (101)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$\Delta W_{H,Ff} = 1.401,368 - (1.437 + 1) + 37 = \mathbf{0,368 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta W_{H,Ff} = 1.402,443 - (1.436 + 1) + 34 = \mathbf{-0,557 \text{ mm}}$$
 (hier tritt eine geringfügige Überdeckung auf!)

Quermaßuntersuchung für:	VDV	Nennspurweite:	1435 mm
Zusätzlicher Platzbedarf der Spurkränze im Gleisbogen (bei Spießgang)			
Fahrzeugtyp:	Musterfzg. 1		
Alle Längenmaße in mm, alle Winkel in dezimalgeteiltem Altgrad!			
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
	Neumaße	Verschl.-grenzmaße	
Nenn-Rückenflächenabstand r / Fertigungstoleranz plus / minus:	1.384,0	2,0	0,0
Spurmaßvergrößerung / -verkleinerung bei 3/3-Vollast:		1,0	0,0
Nenn-Spurkranzbreite b / Fertigungstoleranz plus / minus:	22,00	0,0	-0,5
Nenn-Spurkranzdicke d / Fertigungstoleranz plus / minus:	19,7	0,0	-1,0
Rückenflanken-Stichmaß f / Fertigungstoleranz plus / minus:	2,3	0,5	0,0
Nenn-Spurkranzhöhe h / Fertigungstoleranz plus / minus:	22,0	0,0	-1,0
Neigg. 1:n _S / 1:n _R der Spurkr.-stirn- / rückenflanke:		4,000	6,000
Äußere / innere Spurkr.-kuppenabrundg. (stirnstg.) r _{K,S} / (rückenstg.) r _{K,R} :		3,0	3,0
Achsabstand a_F der starren Radachsen:		6,000	6,000
Messkreisdurchmesser d_M :		2,0	3,5
Querverschiebbarkeit Q der gummielagerten Radreifen:		1,900,0	
		700,0	620,0
		2,0	-2,0
Eingabewerte Gleis			
Abstand A der Spurweiten-Messebene von GFT:		14,0	
Positive / negative Bautoleranz der Spurweite in Weichen:		1,0	-1,0
Walztoleranz 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.	15,0	26,000	
2.	16,5	25,000	
3.	19,0	24,000	
4.	22,0	23,000	
5.	27,0	22,000	
6.	37,0	21,000	
7.	50,0	21,000	
8.	75,0	20,000	
9.			100,0
10.			200,0
11.			
12.			
Rechenwerte am Spurkranz (* - Maße in der GGE, wenn Lage nicht eindeutig):			
Nenn-Spurmaß s / s* :	1428,000	1428,000	1416,000
Größtes Spurmaß s_{max} * (beachte Beladungszustand!):		1431,000	1419,000
Größtes / Kleinstes Leitmaß l_{max} * / l_{min} * (beachte Beladungszustand!):	1411,800	1407,800	1403,500
Größte / Kleinste Spurkranzdicke d_{max} * / d_{min} *:	19,700	18,700	12,500
Größte (neu) / Kleinste (verschlissen) Spurkranzhöhe h_{max} / h_{min} :		22,0	18,000
Breite d. Spurkr.-kuppe d_{k,max} / d_{k,min} (unausgerundet, bezogen auf h _{max/min}):	16,367	15,367	11,167
Winkel α_S / α_R der Spurkr.-stirn- / -rückenflanke zur Horizontalen:	75,9638	80,5377	80,5377
Abnahme der Spurkranzdicke unterhalb der GGE (stirnseitig / rückenstg.):			
- d_S * / d_R *:	2,000	1,333	0,667
Länge l_A der Spurkranz-Abschnittsfläche:		153,467	102,137
Lage des Übergangspunktes Hyperbel/Ellipse Ü_S und Ü_R (stirnseitig / rückenstg.):			
- h_{Ü,S} * / h_{Ü,R} *:	5,728	5,493	2,329
- d_{Ü,S} * / d_{Ü,R} *:	1,432	0,916	0,388
- x_{Ü,S} / x_{Ü,R} *:	64,827	63,476	38,916
- Anlaufwinkel in Ü_{S/R} α_{Ü,S} / α_{Ü,R} *:	2,5307	1,6527	1,1428
Rad. a. d. Spurkr.-Schnittfläche (stirnstg. / rückenstg.), (Hyp.-bereich) r_{A,S} / r_{A,R} :	1.468,171	2.200,937	1.951,180
Verminderg. von d_k bis zur ger. Kuppenlinie (stirnstg. / rückenstg.) d_{K,S} / d_{K,R} :	2,342	2,541	1,694
Länge d_{K,G} der Spurkranzkuppe (bezogen auf d_k):	11,483	10,483	6,507
Ellipsenachsen, (stirnstg. / rückenstg.):			
- große Achse: a_{E,S} / a_{E,R} :	16,194	16,194	15,013
- kleine Achse: b_{E,S} / b_{E,R} :	3,000	3,000	2,000
Verbindung g₁ der Mittelpunkte von r_{A,R} (Rad 1) und r_{A,S} (Rad 2):	4.115,274		4.325,618
Winkel φ zwischen g₁ und der Radachse:	27,4965		26,0556

Tabelle 3.2a: Spießgangberechnung - Eingabewerte und allgemeine Rechenwerte bei Fahrwerks-Neu- sowie bei Fahrwerks-Verschleißgrenzmaßen (detailliertes Berechnungsverfahren)

Tabelle: R₃ - 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_m in m	15,0	16,5	19,0	22,0	27,0	37,0	50,0	75,0	100,0	200,0
Max Radl.-Rillenw. (+ Herst.-Tol.) in mm	27,000	26,000	25,000	24,000	23,000	22,000	22,000	21,000	21,000	21,000

Tabelle: R₃ - 2	Berechnung der Berührungspunkte Rad / Schiene für die Räder 1 bis 3, sofern sie im Bereich der Hyperbeln liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang, Grenzanlaufwinkel $\alpha_{Ü,S}$ (Hyp./Ell.) an Spurkanzstirn / Fahrflanke: 2,5307 ° Grenzanlaufwinkel $\alpha_{Ü,R}$ (Hyp./Ell.) an Spurkanzrückten / Leitflanke: 1,6527 °									
	Alle Werte in mm, Winkel in °									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:							1,2372	0,8166	0,6260	0,3448
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:							0,9969	0,6599	0,4772	0,2037
x-Koordinate von (R ₁ -r _{A,R}):							1.017,051	1.027,629	1.060,829	1.186,158
y-Koordinate von (R ₁ -r _{A,R}):							47.092,58	72.095,24	97.096,77	197.098,99
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:							1,1833	0,7930	0,6124	0,3411
Gleisbogenhalbmesser R₃ :							50.715,82	75.715,09	100.715,17	200.715,26

Tabelle: R₃ - 3	Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 1 im Bereich der Ellipse und der Berührungspunkte an den Rädern 2 und 3, wenn sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
	Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche									
Alle Werte in mm, Winkel in °										
Unbestätigte Eingabe: α_1 (Veränderbare Zelle)	4,1315	3,7407	3,2393	2,7880	2,2676	1,6593	1,6593	1,6593	1,6593	1,6593
$y_{E,1}$ des Berührungspunktes Rad 1:	2,795	2,829	2,869	2,901	2,934	2,964				
zugehöriger $x_{E,1}$ -Wert:	5,883	5,389	4,732	4,117	3,385	2,502				
x-Abst. Mp Gl-bg-halbm. - Radachse 1/3:	964,511	965,436	969,212	971,708	976,898	988,211				
y-Abst. Mp Gl-bg-halbm Rückenscheitel Rad	14.273,394	15.775,866	18.279,255	21.282,254	26.285,842	36.290,187				
y-Koordinate von (R ₂ +r _{A,S}), Rechenweg 1:	15.722,866	17.225,337	19.728,726	22.731,725	27.735,313	37.739,658				
Vorläufiger Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:	3,4050	3,1055	2,7012	2,3385	1,9062	1,3840				
Vorläufiger Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	4,1315	3,7407	3,2393	2,7880	2,2676	1,6593				
y-Koordinate von (R ₂ +r _{A,S}), Rechenweg 2:	15.722,866	17.225,337	19.728,726	22.731,725	27.735,314	37.739,658				
Diff. R-weg 1 - R-weg 2 (Zielzelle/Zielwert=0):	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000				
y-Koordinate von (R ₃ -r _{A,S}):				21.225,882	26.229,471	36.233,816				
Bestätigte Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:				2,7880	2,2676	1,6593				
Bestätigte Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:				2,3385	1,9062	1,3840				
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:					2,1330	1,5623				
Gleisbogenhalbmesser R₃ :					27.715,828	37.715,461				

Tabelle: R₃ - 4	Berechnung des Berührpkt. Rad / Schiene am Rad 3 im Bereich der Ellipse, wenn die Berührungspunkte am Rad 1 im Bereich der Ellipse und am Rad 2 im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
	Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche									
Alle Werte in mm, Winkel in °										
y-Abst. Mp Gl-bg-halbm.-Mp Stirellipse Rad 3					22.689,711					
x-Abst. Mp Gl-bg-halbm.-Mp Stirellipse Rad 3					1.032,247					
Unbestätigte Eingabe: α_3 (Veränderbare Zelle)	1,0000	1,0000	1,0000	2,6143	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
$y_{E,3}$ des Berührungspunktes Rad 3:				2,913						
zugehöriger $x_{E,3}$ -Wert:				3,875						
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:				2,6143						
Gleisbogenhalbmesser R₃ Rechenweg 1:				22.716,266						
Gleisbogenhalbmesser R₃ Rechenweg 2:				22.716,266						
Diff. R-weg 1 - R-weg 2 (Zielz./Zielw.=0):				0,00						

markierter Bereich entspricht den Rechenbeispielen!

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 3.2b: Spießgangberechnung - Gleisbogenhalbmesserabhängige Rechenwerte bei Fahrwerks-Neumaßen (detailliertes Berechnungsverfahren)

Fortsetzung:

Tabelle: R₃ - 5		Berechnung der Berührungspunkte Rad / Schiene an den Rädern 1 und 2 im Bereich der Ellipse , wenn auch der Berührungspunkt am Rad 3 im Bereich der Ellipse liegt, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche											
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3								
Gewählter Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	4,1376	3,7437	3,2400	3,3680	3,3680	3,3680	3,3680	3,3680	3,3680	3,3680	3,3680
$y_{E,1}$ (y-Koord. des Ber-pkt 1 innerhalb der Ell.)	2,794	2,829	2,869								
$x_{E,1}$ (x-Koord. des Ber-pkt 1 innerhalb der Ell.)	5,891	5,393	4,733								
x_1 (x-Abst. des Ber.-punktes 1 von Radachse)	66,430	65,933	65,272								
Anf.-winkel α_2 an Rad 2 (Veränderb. Z.):	3,4857	3,1549	2,7150	2,7950	2,7950	2,7950	2,7950	2,7950	2,7950	2,7950	2,7950
$y_{E,2}$ (y-Koord. des Ber-pkt 2 innerhalb der Ell.)	2,850	2,875	2,906								
$x_{E,2}$ (x-Koord. des Ber-pkt 2 innerhalb der Ell.)	5,058	4,618	4,016								
x_2 (x-Abst. des Ber.-punktes 2 von Radachse)	65,598	65,157	64,555								
$g_{2,x}$ (x-Abst. Ber-pkt 2 b. Schn-pkt R ₁ m. Fahrfl.)	1.898,884	1.899,077	1.899,304								
$g_{2,y}$ (y-Abst. Ber-pkt 2 b. Schn-pkt R ₁ m. Fahrfl.)	10,802	9,757	8,702								
g_2 (Abst. Ber-pkt.2 bis Schn-pkt. R ₁ mit Fahrfl.)	1.898,915	1.899,103	1.899,324								
ϵ (Winkel zwischen g_2 und x-Achse):	0,3259	0,2944	0,2625								
Vergleichswert (Zielzelle / Zielwert=0):	0,00	0,00	0,00								
Zielwert R ₂ (Vorgabe):	14.282,50	15.782,50	18.282,50								
Errechneter Gleisbogenhalbmesser R ₂ :	14.282,50	15.782,50	18.282,50								
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:	3,4857	3,1549	2,7150								
$R_{1,y}$ (y-Koord. von R ₁ im Berührungspunkt)	14.272,20	15.774,77	18.278,24								
Errechneter Gleisbogenhalbmesser R ₁ :	14.309,50	15.808,50	18.307,50								
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	4,1376	3,7437	3,2400								

Tabelle: R₃ - 6		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 3 im Bereich der Ellipse , wenn auch die Berührungspunkte an den Rädern 1 und 2 im Bereich der Ellipse liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche											
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3								
$x_{E,3}$ -Wert (Veränderbare Zelle):	5,370	4,949	4,383	5,419	5,419	5,419	5,419	5,419	5,419	5,419	5,419
$R_{3,x}$ (x-Koordinate von R ₃)	1.021,199	1.021,836	1.025,597								
zugehöriger $y_{E,3}$ -Wert	2,830	2,856	2,888								
y-Abst. Mp. Gl-bg-halbm. v. Ell.-Achse Rad 3	15.680,74	17.183,27	19.686,70								
Vergleichswert (Zielzelle / Zielwert=0):	0,00	0,00	0,00								
Gleisbogenhalbmesser R ₃	15.716,78	17.216,48	19.716,28								
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:	3,7254	3,4026	2,9817								

Tabelle: R₃ - 7		Ermittlung des wirksamen Leitmaßes über Herzstückrille für Einfache Herzstücke (Zusammenfassung aus den vorstehenden Tabellen!)									
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Gleisbogenhalbm. R ₂ an Rad 2 (Vorgabe):	14.282,50	15.782,50	18.282,50	21.282,50	26.282,50	36.282,50	49.282,50	74.282,50	99.282,50	199.282,50	
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:	3,4857	3,1549	2,7150	2,3385	1,9062	1,3840	0,9969	0,6599	0,4772	0,2037	
Gleisbogenhalbm. R ₁ an Rad 1:	14.309,50	15.808,50	18.307,50	21.306,50	26.305,50	36.304,50	49.304,50	74.303,50	99.303,50	199.303,50	
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	4,1376	3,7437	3,2400	2,7880	2,2676	1,6593	1,2372	0,8166	0,6260	0,3448	
Gleisbogenhalbm. R ₃ an Rad 3:	15.716,78	17.216,48	19.716,28	22.716,27	27.715,83	37.715,46	50.715,82	75.715,09	100.715,17	200.715,26	
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:	3,7254	3,4026	2,9817	2,6143	2,1330	1,5623	1,1833	0,7930	0,6124	0,3411	
wirksames größtes Leitmaß $l_{max} \rightarrow L_{H,min}$:	1.407,281	1.407,977	1.408,779	1.409,766	1.410,328	1.410,961	1.411,322	1.411,588	1.411,675	1.411,762	

markierter Bereich entspricht den Rechenbeispielen!

Tabelle 3.2c: Spießgangberechnung - Gleisbogenhalbmesserabhängige Rechenwerte bei Fahrwerks-Neumaßen (detailliertes Berechnungsverfahren)

Tabelle: R ₄ - 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-Gleisbogenhalbmesser R _m in m	15,0	16,5	19,0	22,0	27,0	37,0	50,0	75,0	100,0	200,0
Erf. Radl.-Rillenw.+ Herst.-Tol. in mm	27,000	26,000	25,000	24,000	23,000	22,000	22,000	21,000	21,000	21,000

Tabelle: R ₄ - 2	Berechnung der Berührungspunkte Rad / Schiene für die Räder 1, 2 und 4, sofern sie im Bereich der Hyperbeln liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
	Grenzanlaufwinkel α _{0,SR} (Hyp./Ell.) an Spurkranzstirn/Fahrfl. bzw. Leitflanke: 1,1428 ° / 0,7774 °									
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anfahrwinkel α ₁ an Rad 1:										0,5321
Anfahrwinkel α ₂ an Rad 2:										0,0191
x-Koordinate von (R ₁ +r _{A,R}):										1.832,867
y-Koordinate von (R ₁ +r _{A,R}):										197.347,67
Anfahrwinkel α ₄ an Rad 4:										0,0192
Gleisbogenhalbmesser R ₄ :										200.686,00

Tabelle: R ₄ - 3	Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 1 im Bereich der Ellipse und der Berührungspunkte an den Rädern 2 und 3, wenn sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
	Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche									
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Unbestätigte Eingabe: α ₁ (Veränderbare Zelle):	2,8515	2,3986	3,3621	2,9143	2,3981	1,7989	1,4023	0,9981	0,8120	4,1315
y _{E,1} des Berührungspunktes Rad 1:	3,167	3,254	3,060	3,154	3,255	3,355	3,410	3,454	3,469	
zugehöriger x _{E,1} -Wert:	14,076	12,164	16,043	14,328	12,162	9,404	7,448	5,369	4,387	
x-Abst. Mp Gl-bg-halbm. - Radachse 1/3:	679,779	631,424	1.039,627	1.050,943	1.070,503	1.112,248	1.181,106	1.270,925	1.384,936	
y-Abst. Mp Gl-bg-halbm.-Rückenscheitel Rad 1:	14.292,247	15.795,027	18.276,560	21.279,421	26.282,840	36.286,884	49.289,956	74.292,404	99.293,690	
y-Koordinate von (R ₂ +r _{A,S}), Rechenweg 1:	16.230,927	17.733,707	20.215,241	23.218,102	28.221,520	38.225,564	51.228,637	76.231,085	101.232,37	
Vorläufiger Anfahrwinkel α ₂ an Rad 2:	4,3108	4,1021	2,4371	2,0943	1,6836	1,1806	0,8040	0,4728	0,2915	
Vorläufiger Anfahrwinkel α ₁ an Rad 1:	2,8515	2,3986	3,3621	2,9143	2,3981	1,7989	1,4023	0,9981	0,8120	
y-Koordinate von (R ₂ +r _{A,S}), Rechenweg 2:	16.187,756	17.688,249	20.215,380	23.218,161	28.221,493	38.225,564	51.228,637	76.231,085	101.232,37	
Diff. R-weg 1 - R-weg 2 (Zielzelle/Zielwert=0):	43,172	45,459	-0,139	-0,060	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	
y-Koordinate von (R ₄ +r _{A,R}):							52.628,272	77.630,720	102.632,01	
Bestätigte Anfahrwinkel α ₁ an Rad 1:							1,4023	0,9981	0,8120	
Bestätigte Anfahrwinkel α ₂ an Rad 2:							0,8040	0,4728	0,2915	
Anfahrwinkel α ₄ an Rad 4:								0,4643	0,2875	
Gleisbogenhalbmesser R ₄ :								75.685,953	100.685,98	

Tabelle: R ₄ - 4	Berechnung des Berührpkt. Rad / Schiene am Rad 3 im Bereich der Ellipse, wenn die Berührungspunkte am Rad 1 im Bereich der Ellipse und am Rad 2 im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
	Excel-Zielwertsuche									
Alle Werte in mm, Winkel in °										7
y-Abst. Mp Gl-bg-halbm.-Mp Rückenellipse Rad 4:										50.684,588
x-Abst. Mp Gl-bg-halbm.-Mp Rückenellipse Rad 4:										700,887
Unbestätigte Eingabe: α ₄ (Veränderbare Zelle):	1,9899	1,3528	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,7875	1,0000	1,0000
y _{E,4} des Berührungspunktes Rad 4:										3,471
zugehöriger x _{E,4} -Wert:										4,257
Anfahrwinkel α ₄ an Rad 4:										0,7875
Gleisbogenhalbmesser R ₄ Rechenweg 1:										50.685,90
Gleisbogenhalbmesser R ₄ Rechenweg 2:										50.685,90
Diff. R-weg 1 - R-weg 2 (Zielzelle/Zielwert=0):										0,000

markierter Bereich entspricht den Rechenbeispielen!

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 3.2d: Spießgangberechnung - Gleisbogenhalbmesserabhängige Rechenwerte bei Fahrwerks-Verschleißgrenzmaßen (detailliertes Berechnungsverfahren)

Fortsetzung:

Tabelle: R₄ - 5		Berechnung der Berührungspunkte Rad / Schiene an den Rädern 1 und 2 im Bereich der Ellipse , wenn auch der Berührungspunkt am Rad 3 im Bereich der Ellipse liegt, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche											
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5	6					
Gewählter Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	4,2759	3,8802	3,3745	2,9215	2,4020	1,7992	4,2759	4,2759	4,2759	4,2759	4,2759
$y_{E,1}$ (y-Koord. des Ber-pkt 1 innerhalb der Ell.)	2,859	2,947	3,058	3,153	3,254	3,355					
$x_{E,1}$ (x-Koord. des Ber-pkt 1 innerhalb der Ell.)	19,073	17,836	16,088	14,357	12,179	9,405					
x_1 (x-Abst. des Ber.-punktes 1 von Radachse)	37,080	35,843	34,095	32,364	30,186	27,412					
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2 (<i>Veränderb. Zelle</i>):	3,3240	2,9947	2,5570	2,1710	1,7189	1,1832	3,3240	3,3240	3,3240	3,3240	3,3240
$y_{E,2}$ (y-Koord. des Ber-pkt 2 innerhalb der Ell.)	1,833	1,862	1,896	1,924	1,951	1,976					
$x_{E,2}$ (x-Koord. des Ber-pkt 2 innerhalb der Ell.)	6,000	5,488	4,772	4,109	3,299	2,300					
x_2 (x-Abst. des Ber.-punktes 2 von Radachse)	42,055	41,543	40,827	40,165	39,355	38,356					
$g_{2,x}$ (x-Abst. Ber-pkt 2 b. Schn-pkt R ₁ m. Fahrfl.)	1.893,011	1.892,540	1.891,796	1.890,976	1.889,867	1.888,365					
$g_{2,y}$ (y-Abst. Ber-pkt 2 b. Schn-pkt R ₁ m. Fahrfl.)	15,725	14,624	13,495	12,385	11,267	10,150					
g_2 (Abst. Ber-pkt.2 bis Schn-pkt. R ₁ mit Fahrfl.)	1.893,077	1.892,596	1.891,844	1.891,017	1.889,901	1.888,393					
ϵ (Winkel zwischen g_2 und x-Achse):	0,4759	0,4427	0,4087	0,3753	0,3416	0,3080					
Vergleichswert (<i>Zielzelle / Zielwert=0</i>):	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Zielwert R ₂ (Vorgabe):	14.282,50	15.782,50	18.282,50	21.282,50	26.282,50	36.282,50					
Errechneter Gleisbogenhalbmesser R ₂ :	14.282,49	15.782,49	18.282,48	21.282,51	26.282,51	36.282,49					
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:	3,3240	2,9947	2,5570	2,1710	1,7189	1,1832					
$R_{1,y}$ (y-Koord. von R ₁ im Berührungspunkt)	14.269,66	15.772,25	18.275,74	21.278,82	26.282,40	36.286,59					
Errechneter Gleisbogenhalbmesser R ₁ :	14.309,49	15.808,49	18.307,48	21.306,51	26.305,51	36.304,49					
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	4,2759	3,8802	3,3745	2,9215	2,4020	1,7992					

Tabelle: R₄ - 6		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 3 im Bereich der Ellipse , wenn auch die Berührungspunkte an den Rädern 1 und 2 im Bereich der Ellipse liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche											
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5	6					
$x_{E,4}$ -Wert (<i>Veränderbare Zelle</i>):	14,903	13,795	12,195	10,663	8,719	6,215	6,215	6,215	6,215	6,215	6,215
$R_{4,x}$ (x-Koordinate von R ₄)	837,272	834,278	826,283	817,733	801,004	763,369					
zugehöriger $y_{E,4}$ -Wert	3,124	3,181	3,253	3,313	3,376	3,438					
y-Abst. Mp. Gl-bg-halbm. v. Ell.-Achse Rad 4	15.665,067	17.167,570	19.670,945	22.673,927	27.677,407	37.681,503					
Vergleichswert (<i>Zielzelle / Zielwert=0</i>):	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Gleisbogenhalbmesser R ₄	15.684,31	17.184,65	19.685,04	22.685,36	27.685,62	37.685,80					
Anfahrwinkel α_4 an Rad 4:	3,0601	2,7827	2,4057	2,0658	1,6579	1,1607					

Tabelle: R₄ -7		Ermittlung des wirksamen Leitmaßes über Herzstückrille für Einfache Herzstücke (Zusammenfassung aus den vorstehenden Tabellen!)									
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Gleisbogenhalbmesser R ₂ an Rad 2 (Vorgabe):	14.282,50	15.782,50	18.282,50	21.282,50	26.282,50	36.282,50	49.282,50	74.282,50	99.282,50	199.282,50	
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:	3,3240	2,9947	2,5570	2,1710	1,7189	1,1832	0,8040	0,4728	0,2915	0,0191	
Gleisbogenhalbmesser R ₁ an Rad 1:	14.309,50	15.808,50	18.307,50	21.306,50	26.305,50	36.304,50	49.304,50	74.303,50	99.303,50	199.303,50	
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	4,2759	3,8802	3,3745	2,9215	2,4020	1,7992	1,4023	0,9981	0,8120	0,5321	
Gleisbogenhalbmesser R ₄ an Rad 4:	15.684,31	17.184,65	19.685,04	22.685,36	27.685,62	37.685,80	50.685,90	75.685,95	100.685,98	200.686,00	
Anfahrwinkel α_4 an Rad 4:	3,0601	2,7827	2,4057	2,0658	1,6579	1,1607	0,7875	0,4643	0,2875	0,0192	
wirksames kleinstes Leitmaß $l_{min} \rightarrow L_{R,max}$:	1.401,807	1.402,152	1.402,541	1.402,858	1.403,121	1.403,297	1.403,404	1.403,453	1.403,482	1.403,500	

markierter Bereich entspricht den Rechenbeispielen!

Tabelle 3.2e: Spießgangberechnung - Gleisbogenhalbmesserabhängige Rechenwerte bei Fahrwerks-Verschleißgrenzmaßen (detailliertes Berechnungsverfahren)

Spurweite und Rillenweite für Einfache Herzstücke/Radlenker															
Gleisbogenhalbmesser in m	Leitweite über Herzstückrille ($L_{H,min}$) (= größtes wirksames Leitmaß)								Leitweite über Radlenkerrille ($L_{R,max}$) (= kleinstes wirksames Leitmaß)						
	Musterfahrzeug 1 (Neuzustand)		Musterfahrzeug 2 (Neuzustand)		Quer- elast.	Größtwert bei Berücksichtig. v. Tief- bzw. Flachrille			Musterfahrzeug 1 (Verschleißgrenzzustand)		Musterfahrzeug 2 (Verschleißgrenzzustand)		Quer- elast.	Kleinstwert bei Berücksichtig. v. Tief- bzw. Flachrille	
	EW, ABW, IBW (Stammgleis)	IBW (Stammgleis)	EW, ABW, IBW (Zweiggleis)	IBW (Stammgleis)		EW, ABW, IBW (Stammgleis)	IBW (Stammgleis)	EW, ABW, IBW (Stammgleis)	IBW (Stammgleis)	EW, ABW, IBW (Zweiggleis)	IBW (Stammgleis)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Tiefrille/Tiefrille															
1	> 15,0	1.407,28	1.407,01		+2	+1	1.409,28	1.408,28	1.401,81	1.401,51		-1	-2	1.400,51	1.399,51
2	> 16,5	1.407,98	1.407,77		+2	+1	1.409,98	1.408,98	1.402,15	1.401,90		-1	-2	1.400,90	1.399,90
3	> 19,0	1.408,78	1.408,63		+2	+1	1.410,78	1.409,78	1.402,54	1.402,37		-1	-2	1.401,37	1.400,37
4	> 22,0	1.409,77	1.409,63		+2	+1	1.411,77	1.410,77	1.402,86	1.402,69		-1	-2	1.401,69	1.400,69
5	> 27,0	1.410,33	1.410,25		+2	+1	1.412,33	1.411,33	1.403,12	1.403,00		-1	-2	1.402,00	1.401,00
6	> 37,0	1.410,96	1.410,92		+2	+1	1.412,96	1.411,96	1.403,30	1.403,26		-1	-2	1.402,26	1.401,26
7	> 50,0	1.411,32	1.411,31		+2	+1	1.413,32	1.412,32	1.403,40	1.403,34		-1	-2	1.402,34	1.401,34
8	> 75,0	1.411,59	1.411,58		+2	+1	1.413,59	1.412,59	1.403,45	1.403,44		-1	-2	1.402,44	1.401,44
9	> 100,0	1.411,67	1.411,67		+1	0	1.412,67	1.411,67	1.403,48	1.403,48		0	-1	1.403,48	1.402,48
10	> 200,0	1.411,76	1.411,76		+1	0	1.412,76	1.411,76	1.403,50	1.403,50		0	-1	1.403,50	1.402,50
11	∞^*)	1.411,80	1.411,80		0	0	1.411,80	1.411,80	1.403,50	1.403,50		0	0	1.403,50	1.403,50
Tiefrille/Flachrille															
21	> 15,0	--- wie bei Tiefrille / Tiefrille ---					1.407,78	1.406,78	--- wie bei Tiefrille / Tiefrille ---				1.401,51	1.400,51	
22	> 16,5					1.408,48	1.407,48	1.401,90					1.400,90		
23	> 19,0					1.409,28	1.408,28	1.402,37					1.401,37		
24	> 22,0					1.410,27	1.409,27	1.402,69					1.401,69		
25	> 27,0					1.410,83	1.409,83	1.403,00					1.402,00		
26	> 37,0					1.411,46	1.410,46	1.403,26					1.402,26		
27	> 50,0					1.411,82	1.410,82	1.403,34					1.402,34		
28	> 75,0					1.412,09	1.411,09	1.403,44					1.402,44		
29	> 100,0					1.411,17	1.410,17	1.404,48					1.403,48		
30	> 200,0					1.411,26	1.410,26	1.404,50					1.403,50		
31	∞^*)	1.410,30	1.410,30	1.404,50	1.404,50										
Flachrille/Flachrille															
41	> 15,0	--- wie bei Tiefrille / Tiefrille ---					1.408,78	1.407,78	--- wie bei Tiefrille / Tiefrille ---				1.400,01	1.399,01	
42	> 16,5					1.409,48	1.408,48	1.400,40					1.399,40		
43	> 19,0					1.410,28	1.409,28	1.400,87					1.399,87		
44	> 22,0					1.411,27	1.410,27	1.401,19					1.400,19		
45	> 27,0					1.411,83	1.410,83	1.401,50					1.400,50		
46	> 37,0					1.412,46	1.411,46	1.401,76					1.400,76		
47	> 50,0					1.412,82	1.411,82	1.401,84					1.400,84		
48	> 75,0					1.413,09	1.412,09	1.401,94					1.400,94		
49	> 100,0					1.412,17	1.411,17	1.402,98					1.401,98		
50	> 200,0					1.412,26	1.411,26	1.403,00					1.402,00		
51	∞^*)	1.411,30	1.411,30	1.403,00	1.403,00										

*) Die Werte für das gerade Gleis sind teilweise dem Quermaßnachweis entnommen!

- Fortsetzung nächste Seite -

Tabelle 3.3a: Zusammenstellung und Auswertung aller Berechnungen für die Bemessung von Einfachen Herzstücken/Radlenkern (detailliertes Berechnungsverfahren)

(Fortsetzung)

Gleisbogenhalbmesser in m	Rad- lenker-Rillen- weite		Einfache Weichen, Außenbg.-weichen, Innenbg.-weichen (Zweiggleis)														
			Spurweite			Herzstück- Rillenweite		Quermaßnachweis		kleinster Leitkreisabstand (**)							
	erforderl. Minimalwert	Nenn-/Kleinmaß	Größtmaß (+1)	erforderl. Minimalwert	Korrekturwert	Neuwert			erforderl. Minimalwert		Korrekturwert	Nenn-/Kleinmaß	Größtmaß (+1)	Überschneidg. an d.			
						Kleinmaß (-1)	Nennmaß	Größtmaß (+1)						Fahrfl.	Rillenfl.		
1	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

Tiefrihle/Tiefrihle

1	> 15,0	25,866	26	27	1.436,28		1.437	1.438	1.439	38,49		39	40	n	0,72	n	0,51	1.385,60
2	> 16,5	25,042	25	26	1.435,98		1.436	1.437	1.438	37,10		38	39	n	0,02	n	0,90	1.379,08
3	> 19,0	23,978	24	25	1.435,78		1.436	1.437	1.438	36,63		37	38	n	0,22	n	0,37	1.380,80
4	> 22,0	23,058	23	24	1.435,77		1.436	1.437	1.438	36,31		37	38	n	0,23	n	0,69	1.382,25
5	> 27,0	22,042	22	23	1.435,33		1.436	1.437	1.438	36,00		36	37	n	0,67	n	0,00	1.383,83
6	> 37,0	20,979	21	22	1.434,96		1.435	1.436	1.437	34,74		35	36	n	0,04	n	0,26	1.385,53
7	> 50,0	20,389	21	22	1.435,32	-0,4	1.435	1.436	1.437	34,66		35	36	j	0,32	n	0,34	1.386,49
8	> 75,0	20,001	20	21	1.434,59		1.435	1.436	1.437	34,56	-0,6	34	35	n	0,41	j	0,56	1.387,12
9	> 100,0	19,868	20	21	1.433,67		1.434	1.435	1.436	32,52		33	34	n	0,33	n	0,48	1.388,33
10	> 200,0	19,742	20	21	1.433,76		1.434	1.435	1.436	32,50		33	34	n	0,24	n	0,50	1.388,53
11	∞ *)	19,700	20	21	1.432,80		1.433	1.434	1.435	31,50		32	33	n	0,20	n	0,50	1.388,60

- Fortsetzung vorige Seite -

- Fortsetzung nächste Seite -

Tiefrihle/Flachrihle

21	> 15,0	25,866	26	27	1.434,78		1.435	1.436	1.437	35,49		36	37	n	0,22	n	0,51	1.386,60
22	> 16,5	25,042	25	26	1.434,48		1.435	1.436	1.437	35,10		36	37	n	0,52	n	0,90	1.380,08
23	> 19,0	23,978	24	25	1.434,28		1.435	1.436	1.437	34,63		35	36	n	0,72	n	0,37	1.381,80
24	> 22,0	23,058	23	24	1.434,27		1.435	1.436	1.437	34,31		35	36	n	0,73	n	0,69	1.383,25
25	> 27,0	22,042	22	23	1.433,83		1.434	1.435	1.436	33,00	+0,1	34	35	n	0,17	n	1,00	1.384,83
26	> 37,0	20,979	21	22	1.433,46		1.434	1.435	1.436	32,74		33	34	n	0,54	n	0,26	1.386,53
27	> 50,0	20,389	21	22	1.433,82		1.434	1.435	1.436	32,66		33	34	n	0,18	n	0,34	1.387,49
28	> 75,0	20,001	20	21	1.433,09	-0,1	1.433	1.434	1.435	31,56		32	33	j	0,09	n	0,44	1.388,12
29	> 100,0	19,868	20	21	1.432,17		1.433	1.434	1.435	30,52		31	32	n	0,83	n	0,48	1.389,33
30	> 200,0	19,742	20	21	1.432,26		1.433	1.434	1.435	30,50		31	32	n	0,74	n	0,50	1.389,53
31	∞ *)	19,700	20	21	1.431,30		1.432	1.433	1.434	29,50		30	31	n	0,70	n	0,50	1.389,60

Flachrihle/Flachrihle

41	> 15,0	23,366	24	25	1.433,78		1.434	1.435	1.436	35,99		36	37	n	0,22	n	0,01	1.387,60
42	> 16,5	22,542	23	24	1.433,48		1.434	1.435	1.436	35,60		36	37	n	0,52	n	0,40	1.381,08
43	> 19,0	21,478	22	23	1.433,28		1.434	1.435	1.436	35,13	-0,2	35	36	n	0,72	j	0,13	1.382,80
44	> 22,0	20,558	21	22	1.433,27		1.434	1.435	1.436	34,81		35	36	n	0,73	n	0,19	1.384,25
45	> 27,0	19,542	20	21	1.432,83		1.433	1.434	1.435	33,50		34	35	n	0,17	n	0,50	1.385,83
46	> 37,0	18,479	19	20	1.432,46		1.433	1.434	1.435	33,24	-0,3	33	34	n	0,54	j	0,24	1.387,53
47	> 50,0	17,889	18	19	1.431,82		1.432	1.433	1.434	32,16		33	34	n	0,18	n	0,84	1.388,49
48	> 75,0	17,501	18	19	1.432,09	-0,1	1.432	1.433	1.434	32,06	-0,1	32	33	j	0,09	j	0,06	1.389,12
49	> 100,0	17,368	18	19	1.431,17		1.432	1.433	1.434	31,02	-0,1	31	32	n	0,83	j	0,02	1.390,33
50	> 200,0	17,242	18	19	1.431,26		1.432	1.433	1.434	31,00	-0,1	31	32	n	0,74	j	0,00	1.390,53
51	∞ *)	17,200	18	19	1.430,30		1.431	1.432	1.433	30,00		30	31	n	0,70	n	0,00	1.390,60

*) Die Werte für das gerade Gleis sind teilweise dem Quermaßnachweis entnommen!

**) K_{min} -Wert aus Quermaß-Nachweis für $R = \infty$ (Abschnitt 2.1) minus $2 \times \Delta_{dR}$ aus Tabelle 3.1d minus Querelast. aus Spalte 12

Tabelle 3.3b: Zusammenstellung und Auswertung aller Berechnungen für die Bemessung von Einfachen Herzstücken/Radlenker (Fortsetzung) (detailliertes Berechnungsverfahren)

(Fortsetzung)

Gleisbogenhalbmesser in m	Innenbogenweichen (Stammgleis)													
	Spurweite					Herzstück- Rillenweite			Quermaßnachweis					
	erfordert. Minimalwert	Korrekturwert	Neuwert			erfordert. Minimalwert	Korrekturwert	Neuw. Nenn-/Kleinmaß Größtmaß (+1)	Überschneidg. an d.					
			Kleinmaß (-1)	Nennmaß	Größtmaß (+1)				Fahrfl.		Rillenfl.			
							ja / nein	Maß des Freiraums / der Überschneidung		ja / nein	Maß des Freiraums / der Überschneidung		kleinster Leitkreisabstand ***)	
1	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44		45

Tiefrille/Tiefrille

1	> 15,0	1.435,28		1.436	1.437	1.438	38,49		39	40	n	0,72	n	0,51	1.384,60
2	> 16,5	1.434,98		1.435	1.436	1.437	37,10		38	39	n	0,02	n	0,90	1.378,08
3	> 19,0	1.434,78		1.435	1.436	1.437	36,63		37	38	n	0,22	n	0,37	1.379,80
4	> 22,0	1.434,77		1.435	1.436	1.437	36,31		37	38	n	0,23	n	0,69	1.381,25
5	> 27,0	1.434,33		1.435	1.436	1.437	36,00		36	37	n	0,67	n	0,00	1.382,83
6	> 37,0	1.433,96		1.434	1.435	1.436	34,74		35	36	n	0,04	n	0,26	1.384,53
7	> 50,0	1.434,32	-0,4	1.434	1.435	1.436	34,66		35	36	j	0,32	n	0,34	1.385,49
8	> 75,0	1.433,59		1.434	1.435	1.436	34,56	-0,6	34	35	n	0,41	j	0,56	1.386,12
9	> 100,0	1.432,67		1.433	1.434	1.435	32,52		33	34	n	0,33	n	0,48	1.387,33
10	> 200,0	1.432,76		1.433	1.434	1.435	32,50		33	34	n	0,24	n	0,50	1.387,53
11	∞ *)	1.432,80		1.433	1.434	1.435	31,50		32	33	n	0,20	n	0,50	1.388,60

Tiefrille/Flachrille

21	> 15,0														
22	> 16,5														
23	> 19,0														
24	> 22,0														
25	> 27,0														
26	> 37,0														
27	> 50,0														
28	> 75,0														
29	> 100,0														
30	> 200,0														
31	∞ *)														

Anwendung wird nicht empfohlen

Flachrille/Flachrille

41	> 15,0	1.432,78		1.433	1.434	1.435	35,99		36	37	n	0,22	n	0,01	1.386,60
42	> 16,5	1.432,48		1.433	1.434	1.435	35,60		36	37	n	0,52	n	0,40	1.380,08
43	> 19,0	1.432,28		1.433	1.434	1.435	35,13	-0,2	35	36	n	0,72	j	0,13	1.381,80
44	> 22,0	1.432,27		1.433	1.434	1.435	34,81		35	36	n	0,73	n	0,19	1.383,25
45	> 27,0	1.431,83		1.432	1.433	1.434	33,50		34	35	n	0,17	n	0,50	1.384,83
46	> 37,0	1.431,46		1.432	1.433	1.434	33,24	-0,3	33	34	n	0,54	j	0,24	1.386,53
47	> 50,0	1.430,82		1.431	1.432	1.433	32,16		33	34	n	0,18	n	0,84	1.387,49
48	> 75,0	1.431,09	-0,1	1.431	1.432	1.433	32,06	-0,1	32	33	j	0,09	j	0,06	1.388,12
49	> 100,0	1.430,17		1.431	1.432	1.433	31,02	-0,1	31	32	n	0,83	j	0,02	1.389,33
50	> 200,0	1.430,26		1.431	1.432	1.433	31,00	-0,1	31	32	n	0,74	j	0,00	1.389,53
51	∞ *)	1.430,30		1.431	1.432	1.433	30,00		30	31	n	0,70	n	0,00	1.390,60

*) Die Werte für das gerade Gleis sind teilweise dem Quermaßnachweis entnommen!

***) K_{min} -Wert aus Quermaß-Nachweis für $R = \infty$ (Abschnitt 2.1) minus $2 \times \Delta_{dR}$ aus Tabelle 3.1d minus Querelast. aus Sp. 13

Tabelle 3.3c: Zusammenstellung und Auswertung aller Berechnungen für die Bemessung von Einfachen Herzstücken/Radlenker (Fortsetzung) (detailliertes Berechnungsverfahren)

2.2 Doppelte Herzstücke

Kleinste zulässige Spurweite $S_{\min,B}^*$ im Gleisbogen:

$$S_{\min,B}^* = S_{\min,G}^* + 2 \Delta d_S^* \quad \text{nach (102)}$$

$$S_{\min,G}^* = 1.431,0 \text{ mm} \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.3.2}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19 \text{ m}$:

$$\Delta d_S^* = R_m - R_2 - 0,5 s^* \quad \text{nach (35)}$$

$$R_2 = 18.285,122 \text{ mm} \quad (\text{Berechnung nach 2.1.1.3} \rightarrow \text{Tabelle 3.1d})$$

$$\Delta d_S^* = 19.000 - 18.285,122 - 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{0,878 \text{ mm}}$$

$$S_{\min,B}^* = 1.431,0 + 2 \cdot 0,878 = 1.432,756 \text{ mm} \rightarrow \underline{1.433 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75 \text{ m}$:

$$\Delta d_S^* = R_m - R_2 - 0,5 s^* \quad \text{nach (35)}$$

$$R_2 = 74.285,940 \text{ mm} \quad (\text{Berechnung nach 2.1.1.2} \rightarrow \text{Tabelle 3.1d})$$

$$\Delta d_S^* = 75.000 - 74.285,940 - 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{0,060 \text{ mm}}$$

$$S_{\min,B}^* = 1.431,0 + 2 \cdot 0,060 = 1.431,120 \text{ mm} \rightarrow \underline{1.432 \text{ mm}}$$

Nennspurweite unter Berücksichtigung der Bautoleranz:

$$S_N^* = S_{\min}^* + |-\Delta S| \quad \text{nach (96)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19 \text{ m}$:

$$S_{N,DH}^* = 1.433 + |-1,0| = \underline{1.434 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75 \text{ m}$:

$$S_{N,DH}^* = 1.432 + |-1,0| = \underline{1.433 \text{ mm}}$$

Größter zulässiger Leitkantenabstand $K_{\max,B}^*$ im Gleisbogen:

$$K_{\max,B}^* = K_{\max,G}^* - 2 \Delta d_R^* \quad \text{nach (103)}$$

$$K_{\max,G}^* = 1.387,0 \text{ mm} \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.3.2}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$\Delta d_R^* = (0,5 s^* - d^*) - (R_m - R_1) \quad \text{nach (34)}$$

$R_1 = 18.309,109$ mm (Berechnung nach 2.1.1.3, hier tritt der etwas ungünstigere Wert mit den Maßen des Musterfahrwerks 2 auf!)

$$\Delta d_R^* = (0,5 \cdot 1.428,0 - 19,7) - (19.000 - 18.309,109) = \underline{3,409 \text{ mm}}$$

$$K_{\max,B}^* = 1.387,0 - 2 \cdot 3,409 = 1.380,182 \text{ mm} \rightarrow \underline{1.380 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta d_R^* = (0,5 s^* - d^*) - (R_m - R_1) \quad \text{nach (34)}$$

$R_1 = 74.305,942$ mm (Berechnung nach 2.1.1.2 → Tabelle 3.1d)

$$\Delta d_R^* = (0,5 \cdot 1.428,0 - 19,7) - (75.000 - 74.305,942) = \underline{0,242 \text{ mm}}$$

$$K_{\max,B}^* = 1.387,0 - 2 \cdot 0,242 = 1.386,516 \text{ mm} \rightarrow \underline{1.386 \text{ mm}}$$

Kleinste zulässige Rillenweite $W_{DH,\min,B}^*$ im Gleisbogen:

$$W_{DH,\min,B}^* = W_{DH,\min,G}^* + \Delta d^* \quad \text{nach (104)}$$

$W_{DH,\min,G}^* = 22,2$ mm aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.3.2

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$\Delta d^* = \Delta d_S^* + \Delta d_R^* = 0,878 + 3,409 = \underline{4,287 \text{ mm}} \quad \text{nach (36)}$$

$$W_{DH,\min,B}^* = 22,2 + 4,287 = 26,487 \text{ mm} \rightarrow \underline{27 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta d^* = \Delta d_S^* + \Delta d_R^* = 0,060 + 0,242 = \underline{0,302 \text{ mm}}$$

$$W_{DH,\min,B}^* = 22,2 + 0,302 = 22,502 \text{ mm} \rightarrow \underline{23 \text{ mm}}$$

Nenn-Rillenweite unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranz:

$$W_{DH,N,B}^* = W_{DH,\min,B}^* + |-\Delta W|$$

$$-\Delta W = 0$$

$$W_{DH,N,B}^* = W_{DH,\min,B}^*$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$W_{DH,N,B}^* = \underline{27 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$W_{DH,N,B}^* = \underline{23 \text{ mm}}$$

Freiraum an der Fahrflanke:

$$\Delta W_{Ff} = S_{\min,B}^* - (s_{\max,G}^* + 2 \Delta d_{S}^*) \quad \text{nach (105)}$$

$$s_{\max,G}^* = s_{\max,G} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$s_{\max,G} = 1.431,0 \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.1}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$\Delta W_{Ff} = 1.433 - (1.431,0 + 2 \cdot 0,878) = 0,244 \text{ mm}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta W_{Ff} = 1.432 - (1.431,0 + 2 \cdot 0,060) = 0,880 \text{ mm}$$

Freiraum an der Rillenflanke:

$$\Delta W_{Rf} = k_{\min,G}^* - 2 \Delta d_{R}^* - (S_{\max,B}^* - 2 W_{\min,B}^*) \quad \text{nach (106)}$$

$$k_{\min,G}^* = k_{\min,G} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$k_{\min,G}^* = 1.388,6 \text{ mm} \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.1}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 19$ m:

$$\Delta W_{Rf} = 1.388,6 - 2 \cdot 3,409 - (1.434 + |+1,0| - 2 \cdot 27) = 0,782 \text{ mm}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta W_{Rf} = 1.388,6 - 2 \cdot 0,242 - (1.433 + |+1,0| - 2 \cdot 23) = 0,116 \text{ mm}$$

Generell gilt für 2.1.3, 2.1.4 und 2.2:

Wenn GGE und Spurweiten-Messebene nicht übereinstimmen ($a \neq a^*$), muss noch eine Umrechnung aller Maße entsprechend der Neigung an der Schienenflanke von dem in GGE ermittelten Wert in die Spurweiten-Messebene vorgenommen werden.

Bei **Flachrillen** ist zu beachten, dass durch das Herausheben des Rades bei der Spurkranzkuppen-/Rillenbodenberührung eine Verringerung der wirksamen Spurkranzdicke auftritt und entsprechend die Spur-, Leit- und Rillenweiten zu korrigieren sind (Bild 3.3).

Am Beispiel von Spur- und Rillenweite bei Doppelten Herzstücken erfolgt die Umrechnung von Tief- auf Flachrillen.

Die erforderliche Spurweite verringert sich bei beidseitiger Flachrille gegenüber der Tiefrille um:

$$\Delta S_{F/F} = 2 (A + h - t - a^*) / n_S = 2 (14 + 22 - 16 - 14) / 4 = \underline{\underline{3,0 \text{ mm}}} \quad \text{nach (108)}$$

Die erforderliche Rillenweite verringert sich bei Flachrille gegenüber der Tiefrille um:

$$\Delta W_{T/F} = (A + h - t - a^*) \cdot (1/n_S + 1/n_R) =$$

$$\Delta W_{T/F} = (14 + 22 - 16 - 14) \cdot (1/4 + 1/6) = \underline{\underline{2,5 \text{ mm}}} \quad \text{nach (109)}$$

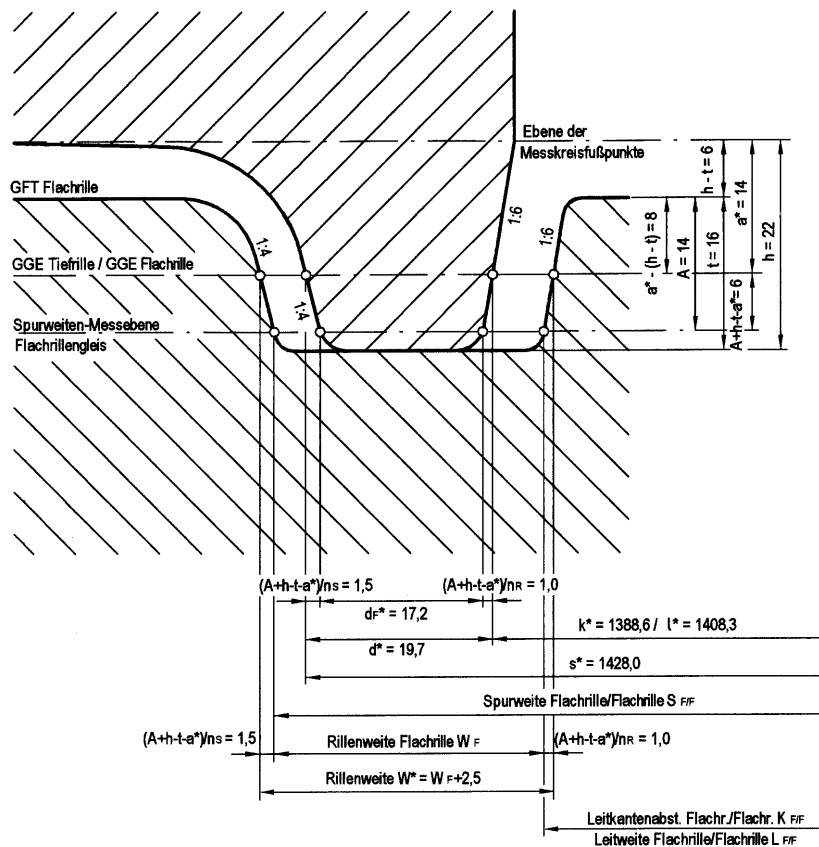


Bild 3.3: Flachrille

Spurweite und Rillenweite für Doppelte Herzstücke																				
Gleisbogenhalbmesser in m	erf. Rillenerweiterung				Tiefrippe / Tiefrippe															Gleisbogenhalbmesser in m
	fahr- flankenseitig		leit-/rücken- flankenseitig		Spurweite					Rillenweite					max. Leitkantenabstand (kleinster Leitkreisabstand)	Quermaßnachweis				
	Musterfahrzeug 1	Musterfahrzeug 2	Musterfahrzeug 1	Musterfahrzeug 2	erforderlicher Minimalwert (aus max. Spurmaß)	Korrekturwert	Neuwert			erforderlicher Minimalwert	Korrekturwert	Neuw.		ja / nein		Überschneidung an d. Fahrflanke	Überschneidung an d. Leitflanke			
							Kleinmaß (-1)	Nennmaß	Größtmaß (+1)			Nenn-/ Kleinmaß	Größtmaß (+1)							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	> 15,0	1,22	0,98	4,95	4,99	1.433,43		1434	1435	1436	28,408		29	30	1.378,62	n	0,57	n	0,62	> 15,0
2	> 16,5	1,08	0,88	4,26	4,28	1.433,17		1434	1435	1436	27,568		28	29	1.380,03	n	0,83	n	0,03	> 16,5
3	> 19,0	0,88	0,72	3,40	3,41	1.432,76		1433	1434	1435	26,487		27	28	1.381,78	n	0,24	n	0,78	> 19,0
4	> 22,0	0,68	0,56	2,68	2,67	1.432,36		1433	1434	1435	25,558		26	27	1.383,25	n	0,64	n	0,25	> 22,0
5	> 27,0	0,45	0,37	1,89	1,87	1.431,91		1432	1433	1434	24,542		25	26	1.384,83	n	0,09	n	0,83	> 27,0
6	> 37,0	0,24	0,20	1,04	1,02	1.431,49		1432	1433	1434	23,479		24	25	1.386,53	n	0,51	n	0,53	> 37,0
7	> 50,0	0,13	0,11	0,55	0,55	1.431,27		1432	1433	1434	22,889	+0,2	24	25	1.387,49	n	0,73	n	1,49	> 50,0
8	> 75,0	0,06	0,05	0,24	0,24	1.431,12		1432	1433	1434	22,501		23	24	1.388,12	n	0,88	n	0,12	> 75,0
9	> 100,0	0,03	0,03	0,13	0,13	1.431,07	-0,1	1431	1432	1433	22,368		23	24	1.388,33	j	0,07	n	1,33	> 100,0
10	> 200,0	0,01	0,01	0,03	0,03	1.431,02	-0,1	1431	1432	1433	22,242		23	24	1.388,53	j	0,02	n	1,53	> 200,0
11	∞ *)	0,00	0,00	0,00	0,00	1.431,00		1431	1432	1433	22,200		23	24	1.388,60	n	0,00	n	1,60	∞ *)

Flachrippe / Flachrippe																				
Gleisbogenhalbmesser in m	erf. Rillenerweiterung				Flachrippe / Flachrippe															Gleisbogenhalbmesser in m
	fahr- flankenseitig		leit-/rücken- flankenseitig		Spurweite					Rillenweite					max. Leitkantenabstand (kleinster Leitkreisabstand)	Quermaßnachweis				
	Musterfahrzeug 1	Musterfahrzeug 2	Musterfahrzeug 1	Musterfahrzeug 2	erforderlicher Minimalwert (aus max. Spurmaß)	Korrekturwert	Neuwert			erforderlicher Minimalwert	Korrekturwert	Neuw.		ja / nein		Überschneidung an d. Fahrflanke	Überschneidung an d. Leitflanke			
							Kleinmaß (-1)	Nennmaß	Größtmaß (+1)			Nenn-/ Kleinmaß	Größtmaß (+1)							
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
21	> 15,0	1,22	0,98	4,95	4,99	1.430,43		1431	1432	1433	25,908	+0,1	27	28	1.380,62	n	0,57	n	1,62	> 15,0
22	> 16,5	1,08	0,88	4,26	4,28	1.430,17		1431	1432	1433	25,068		26	27	1.382,03	n	0,83	n	1,03	> 16,5
23	> 19,0	0,88	0,72	3,40	3,41	1.429,76		1430	1431	1432	23,987	+0,1	25	26	1.383,78	n	0,24	n	1,78	> 19,0
24	> 22,0	0,68	0,56	2,68	2,67	1.429,36		1430	1431	1432	23,058		24	25	1.385,25	n	0,64	n	1,25	> 22,0
25	> 27,0	0,45	0,37	1,89	1,87	1.428,91		1429	1430	1431	22,042		23	24	1.386,83	n	0,09	n	1,83	> 27,0
26	> 37,0	0,24	0,20	1,04	1,02	1.428,49		1429	1430	1431	20,979	+0,1	22	23	1.388,53	n	0,51	n	1,53	> 37,0
27	> 50,0	0,13	0,11	0,55	0,55	1.428,27		1429	1430	1431	20,389		21	22	1.389,49	n	0,73	n	0,49	> 50,0
28	> 75,0	0,06	0,05	0,24	0,24	1.428,12		1429	1430	1431	20,001		21	22	1.390,12	n	0,88	n	1,12	> 75,0
29	> 100,0	0,03	0,03	0,13	0,13	1.428,07	-0,1	1428	1429	1430	19,868		20	21	1.390,33	j	0,07	n	0,33	> 100,0
30	> 200,0	0,01	0,01	0,03	0,03	1.428,02	-0,1	1428	1429	1430	19,742		20	21	1.390,53	j	0,02	n	0,53	> 200,0
31	∞ *)	0,00	0,00	0,00	0,00	1.428,00		1428	1429	1430	19,700		20	21	1.390,60	n	0,00	n	0,60	∞ *)

*) Die Werte für das gerade Gleis sind teilweise dem Quermaßnachweis entnommen!

Tabelle 3.4: Zusammenstellung und Auswertung aller Berechnungen für die Bemessung von Doppelten Herzstücken (detailliertes Berechnungsverfahren)

3 Vereinfachtes Berechnungsverfahren

3.1 Einfache Herzstücke einschl. Radlenkerbereich

3.1.1 Rillenweiten im Radlenkerbereich

3.1.1.1 Geometrie der horizontalen Spurkranz-Abschnittsfläche

Radius $r_{A,S/R}$ als seitliche Begrenzung der Spurkranz-Abschnittsfläche an der Spurkranzstirn- / -rückenflanke (Ersatz für Hyperbel):

$$r_{A,S/R} = (0,25 l_A^2 + d_{S/R}^{*2}) / (2 d_{S/R}^*) \quad \text{nach (201a/b)}$$

$$l_A = 153,467 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_S^* = 2,000 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$r_{A,S} = (0,25 \cdot 153,467^2 + 2,0^2) / (2 \cdot 2,0) = \underline{1.473,000 \text{ mm}}$$

$$d_R^* = 1,333 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$r_{A,R} = (0,25 \cdot 153,467^2 + 1,333^2) / (2 \cdot 1,333) = \underline{2.208,667 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_{E,1/2}$ im rücken- / stirnseitigen Eckpunkt Hyperbel / Spurkranzkuppe der Spurkranz-Abschnittsfläche tangential zur Hyperbel:

$$R_{E,1} = r_{A,R} [(a_F / l_A) + 1] \quad \text{nach (202)}$$

a_F - Abstand der beiden starren Radachsen des Fahrwerks

$$R_{E,1} = 2.208,667 [(1.900 / 153,467) + 1] = \underline{29.553,160 \text{ mm}}$$

$$R_{E,2} = r_{A,S} [(a_F / l_A) - 1] \quad \text{nach (203)}$$

$$R_{E,2} = 1.473,0 [(1.900 / 153,467) - 1] = \underline{16.763,540 \text{ mm}}$$

Mittlerer Gleisbogenhalbmesser $R_{E,1/2,m}$ im stirn- / rückenseitigen Übergangspunkt Hyperbel / Spurkranzkuppe der Spurkranz-Abschnittsfläche analog nach (7a/7b):

$$R_{E,1/2,m} \sim R_{E,1/2} + 0,5 s_N \quad \text{nach (204a/b)}$$

$$R_{E,1,m} \sim 29.553,160 + 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{\underline{30.300 \text{ mm}}}$$

$$R_{E,2,m} \sim 16.763,540 + 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{\underline{17.500 \text{ mm}}}$$

Horizontaler Anfahrwinkel $\alpha_{E,S/R}$ im stirn- / rückenseitigen Eckpunkt Hyperbel / Spurkranzkuppe:

$$\alpha_{E,S/R} = \arcsin (0,5 l_A / r_{A,S/R}) \quad \text{nach (205a/b)}$$

$$\alpha_{E,S} = \arcsin (0,5 \cdot 153,467 / 1.473,000) = \underline{\underline{2,9861^\circ}}$$

$$\alpha_{E,R} = \arcsin (0,5 \cdot 153,467 / 2.208,667) = \underline{\underline{1,9910^\circ}}$$

3.1.1.2 Anfahrpunkte im Bereich der Spurkranzflanke (Hyperbelbereich),

Fall 2a

(Bild 1.9)

Beispielgebend sollen hier im Bereich der Hyperbeln der Spurkranz-Abschnittsfläche die Gleisbogenhalbmesser $R_{1/2}$ im rücken- / stirnseitigen Anfahrpunkt Rad/Schiene für einen angenommenen mittleren Gleisbogenhalbmesser $R_m = 50 \text{ m}$ (Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_{E,1,m} \sim 30,3 \text{ m}$ / $R_{E,2,m} \sim 17,5 \text{ m}$) berechnet werden:

$$R_1 = (R_1 - r_{A,R}) + r_{A,R} \quad \text{nach (9)}$$

$$(R_1 - r_{A,R}) = \sqrt{(R_1 - r_{A,R})_y^2 + 0,25 a_F^2} \quad \text{nach (10)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = R_{m,y} - 0,5 s_N^* + d_{\max}^* - r_{A,R} \quad \text{nach (11)}$$

$$R_{m,y} = \sqrt{R_m^2 - 0,25 a_F^2} \quad \text{nach (12)}$$

$$R_{m,y} = \sqrt{50.000^2 - 0,25 \cdot 1.900^2} = \underline{\underline{49.990,974 \text{ mm}}}$$

$$s_N^* = s_N \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$d_{\max}^* = d_{\max} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$d_{\max}^* = 19,7 \text{ mm}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = 49.990,974 - 0,5 \cdot 1.428 + 19,7 - 2.208,667 = \underline{47.088,007 \text{ mm}}$$

$$(R_1 - r_{A,R}) = \sqrt{47.088,007^2 + 0,25 \cdot 1.900^2} = \underline{47.097,589 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 47.097,589 + 2.208,667 = \underline{49.306,256 \text{ mm}}$$

$$R_2 = \sqrt{(R_2 + r_{A,S})_y^2 + 0,25 a_F^2} - r_{A,S} \quad \text{nach (15)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = R_{m,y} - 0,5 s_N^* + r_{A,S} \quad \text{nach (16)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = 49.990,974 - 0,5 \cdot 1.428,0 + 1.473,0 = \underline{50.749,974 \text{ mm}}$$

$$R_2 = \sqrt{50.749,974^2 + 0,25 \cdot 1.900^2} - 1.473,0 = \underline{49.285,865 \text{ mm}}$$

3.1.1.3 Anfahrungen im Eckpunkt Spurkranzflanke (Hyperbel) / Spurkranzkuppenabrundung, Fall 2b

(Bild 1.10)

Beispielgebend sollen im rücken- / stirnseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke/Spurkranzkuppe der Spurkranz-Abschnittsfläche der Gleisbogenhalbmesser $R_{1/2}$ für einen angenommenen mittleren Gleisbogenhalbmesser R_m für $R_m = 16 \text{ m}$ (Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_{E,1,m} \sim 30,3 \text{ m}$ / $R_{E,2,m} \sim 17,5 \text{ m}$) berechnet werden:

$$R_1 = \sqrt{R_{1,y}^2 + (0,5 a_F + 0,5 l_A)^2} \quad \text{nach (206)}$$

$$R_{1,y} = R_{m,y} - 0,5 s_N^* + d_S^* + d_{K,max} \quad \text{nach (207)}$$

$$R_{m,y} = \sqrt{R_m^2 - 0,25 a_F^2} \quad \text{nach (12)}$$

$$R_{m,y} = \sqrt{16.000^2 - 0,25 \cdot 1.900^2} = \underline{15.971,772 \text{ mm}}$$

$$s_N^* = s_N \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$d_S^* = 2,000 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_{K,max} = 16,367 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$R_{1,y} = 15.971,772 - 0,5 \cdot 1.428 + 2,0 + 16,367 = \underline{15.276,139 \text{ mm}}$$

$$l_A = 153,467 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$R_1 = \sqrt{15.276,139^2 + (0,5 \cdot 1.900 + 0,5 \cdot 153,467)^2} = \underline{15.310,604 \text{ mm}}$$

$$R_2 = \sqrt{R_{2,y}^2 + (0,5 a_F - 0,5 l_A)^2} \quad \text{nach (208)}$$

$$R_{2,y} = R_{m,y} - 0,5 s_N^* + d_S^* \quad \text{nach (209)}$$

$$R_{2,y} = 15.971,772 - 0,5 \cdot 1.428,0 + 2,000 = \underline{15.259,772 \text{ mm}}$$

$$R_2 = \sqrt{15.259,772^2 + (0,5 \cdot 1.900 - 0,5 \cdot 153,467)^2} = \underline{\underline{15.284,739 \text{ mm}}}$$

3.1.1.4 Rillenweiten im Radlenkerbereich

Beispielgebend wird hier die Berechnung mit den Werten der mittleren Gleisbogenhalbmesser 50 m und 16 m aus den Berechnungen in den Abschnitten 3.1.1.2 und 3.1.1.3 vorgenommen.

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 50 \text{ m}$

Stirnseitige Aufweitung der Rille im Radlenkerbereich gegenüber der Geraden im Gleisbogen:

$$\Delta d_S^* = R_m - R_2 - 0,5 s^* \quad \text{nach (35)}$$

$$\Delta d_S^* = 50.000 - 49.285,865 - 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{\underline{0,135 \text{ mm}}}$$

Rückenseitige Aufweitung gegenüber der Geraden:

$$\Delta d_R^* = (0,5 s^* - d^*) - (R_m - R_1) \quad \text{nach (34)}$$

$$\Delta d_R^* = (0,5 \cdot 1.428,0 - 19,7) - (50.000 - 49.306,256) = \underline{\underline{0,556 \text{ mm}}}$$

Gesamtaufweitung der Rille gegenüber der Geraden:

$$\Delta d^* = \Delta d_S^* + \Delta d_R^* = 0,135 + 0,556 = \underline{\underline{0,691 \text{ mm}}} \quad \text{nach (36)}$$

Mindestens erforderliche Radlenker-Rillenweite W_R in der GGE:

$$W_R^* = d_{\max}^* + \Delta d^* = 19,7 + 0,691 = \underline{\underline{20,391 \text{ mm}}} \quad \text{nach (37)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16 \text{ m}$

Stirnseitige Aufweitung der Rille im Radlenkerbereich gegenüber der Geraden im Gleisbogen:

$$\Delta d_S^* = R_m - R_2 - 0,5 s^* \quad \text{nach (35)}$$

$$\Delta d_S^* = 16.000 - 15.284,739 - 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{\underline{1,261 \text{ mm}}}$$

Rückenseitige Aufweitung gegenüber der Geraden:

$$\Delta d_R^* = (0,5 s^* - d^*) - (R_m - R_1) \quad \text{nach (34)}$$

$$\Delta d_R^* = (0,5 \cdot 1.428,0 - 19,7) - (16.000 - 15.310,604) = \underline{\underline{4,904 \text{ mm}}}$$

Gesamtaufweitung der Rille gegenüber der Geraden:

$$\Delta d^* = \Delta d_S^* + \Delta d_R^* = 1,261 + 4,904 = \underline{\underline{6,165 \text{ mm}}} \quad \text{nach (36)}$$

Mindestens erforderliche Radlenker-Rillenweite W_R in der GGE:

$$W_R^* = d_{\max}^* + \Delta d^* = 19,7 + 6,165 = \underline{\underline{25,865 \text{ mm}}} \quad \text{nach (37)}$$

Tabelle 3.5a enthält die Eingabewerte und allgemein gültigen Berechnungswerte, Tabelle 3.5b und 3.5c alle Berechnungswerte für die frei gewählten Gleisbogenhalbmesser für die Spurkränze der Musterfahrwerke 1 und 2 sowie Tabelle 3.5d die Berechnungswerte für die aus dem Diagramm 3.3 abgelesenen Grenz-Gleisbogenhalbmesser für die Spurkränze des maßbestimmenden Musterfahrwerks 1.

Diagramm 3.3 stellt die erforderliche Rillenweite in Abhängigkeit vom mittleren Gleisbogenhalbmesser für die Spurkränze beider Musterfahrwerke dar. Die Spurkränze des Fahrwerks 1 haben offensichtlich den etwas größeren Platzbedarf, also sind sie für die Bemessung der Rillenweite maßgebend. Da in der Spur- und Rillenweiten-Tabelle Gruppen von Gleisbogenhalbmessern anzugeben sind, empfiehlt es sich, diese Gruppeneinteilung nach Rillenweiten im Radlenkerbereich vorzunehmen, die auf volle Millimeter abgestuft sind.

Es können aus dem Spurkranz-Platzbedarf des maßbestimmenden Fahrwerks 1 im Diagramm 3.3 jeweils die Gleisbogenhalbmesser abgelesen werden, für die eine Rillenweite im Radlenkerbereich mit vollen Millimetern zutrifft:

Rillenweite im Radlenkerbereich in mm	Gleisbogenhalbmesser in m
20	≥ 75
21	≥ 37
22	≥ 28
23	≥ 23
24	≥ 20
25	$\geq 17,5$
26	≥ 16
27	< 16

Die weiteren Berechnungen werden nun mit diesen Grenz-Gleisbogenhalbmessern durchgeführt. Zusätzlich sind zur Information die Gleisbogenhalbmesser 50 m, 100 m und 200 m in die Berechnung einbezogen worden.

Quermaßuntersuchung für:	VDV		Nennspurweite:	1435 mm		
Erforderliche Radlenker-Rillenweite im Gleisbogen (= wirksame max. Spurkranzdicke)						
(Vereinfachte Berechnung <u>ohne</u> Berücksichtigung der Spurkranzkuppenabrundung)						
Untersuchter Fall:	Neuzustand		Radprofil:			
Alle Zahlenwerte sind Grundwerte, ohne Berücksichtigung von Bau- oder Herstellungstoleranzen, elast. Verformungen usw.!						
Alle Längenmaße in mm, alle Winkel in dezimalgeteiltem Altgrad!						
Eingabewerte Rad/Radsatz (horizontale Maße in der Spurmaß-Messgeraden gemessen):						
Abst. a der Spurm.-Messgerade von MKF/Abst. a* der GGE von MKF:			14,0	14,00		
Nenn-Spurmaß s / Nenn-Rückenflächenabstand r :			1.428,00	1.384,00		
Nenn-Spurkranzdicke d / Nenn-Spurkranzhöhe h :			19,70	22,00		
Winkel der Spurkranzstirnflanke / Neigung 1:n_S der Spurkranzstirnflanke:			° oder 1:	4,000		
Winkel der Spurkranzrückenflanke / Neigung 1:n_R der Spurkranzrückenflanke:			° oder 1:	6,000		
Fahrzeugtyp		1	2	3	4	5
Achsabstand a_F der starren Achsen:	Musterfzg.1	Musterfzg.2				
Messkreisdurchmesser. d_M :	1.900,0	2.000,0				
	700,0	600,0				
Rechenwerte am Spurkranz (* - Maße in der GGE, wenn Lage nicht eindeutig):						
Nenn-Spurmaß s* :	1428,000	Neigung 1:n_S der Spurkranzstirnflanke:	4,0000			
Nenn-Leitmaß l* :	1408,300	Neigung 1:n_R der Spurkranzrückenflanke:	6,0000			
Nenn-Spurkranzdicke d* :	19,700	Winkel α_S der Spurkr.-stirnflanke zur Waagerechten:	75,9638			
Spurkranzbreite e (in der Spurkr.-Messgeraden):	22,000	Winkel α_R d. Spurkr.-rückenflanke zur Waagerechten:	80,5377			
Spurkranzbreite e* :	22,000					
Breite der Spurkranzkuppe d_{K,G} :	16,367					
Zunahme der Spurkranzdicke d_{S0} (stirnseitig) / d_{R0} (rückenseitig) von Spurmaß-Messgerade bis MKFp-MKFp:			3,500	2,300		
Abnahme der Spurkranzdicke d_S* (stirnseitig) / d_R* (rückenseitig) unterhalb der GGE (bei unausgerundeter Kuppe):			2,000	1,333		
vertikale Lage des Eckpunktes Hyp./Spurkr.-kuppe E_S/E_R h_{E,S}/h_{E,R} (stirnstg./rückenstg.):			8,000	8,000		
horiz. Lage in y-Richtg. d. Eckpunktes Hyp./Spurkr.-kuppe E_S/E_R d_{E,S}/d_{E,R} (stirnstg./rückenstg.):			2,000	1,333		
Verminderung d_{K,S} / d_{K,R} von d_K bis zur geraden Kuppenlinie d_{K,G} (stirnseitig / rückenseitig):			0,000	0,000		
Fahrzeugtyp		1	2	3	4	5
Länge l_A der Spurkranz-Abschnittsfläche:	Musterfzg.1	Musterfzg.2				
Lage in x-Richtg. d. stirnseitig. Eckpkt. E_S x_{E,S} :	153,467	142,660				
Lage in x-Richtg. d. rückenstg. Eckpkt. E_S x_{E,S} :	76,733	71,330				
Lage in x-Richtg. d. rückenstg. Eckpkt. E_S x_{E,S} :	76,733	71,330				
Radius r_{A,S} an d. Spurkr.-Abschnittsfl., stirnstg. (Hyperbel):	1.473,000	1.273,000				
Radius r_{A,R} an d. Spurkr.-Abschnittsfl., rückenstg. (Hyperbel):	2.208,667	1.908,667				
In der Spurkranz-Abschnittsfläche des Innenrades am Eckpunkt E_S / E_R						
- Gleisbogenhalbmesser R_{E,S} (stirnseitig):	16.763,5	16.573,6				
- Gleisbogenhalbmesser R_{E,R} (rückenseitig):	29.553,2	28.666,8				
- Anlaufwinkel α_{E,S} (stirnseitig):	2,9861	3,2121				
- Anlaufwinkel α_{E,R} (rückenseitig):	1,9910	2,1417				

Tabelle 3.5a: Erforderliche Rillenweite im gebogenen Radlenkerbereich - Eingabewerte und allgemeine Berechnungen (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Fahrzeugtyp: **Musterfzg.1**

Alle Werte in mm	1	2	3	4	5	6
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:	14.000	16.000	18.000	20.000	22.500	25.000
y-Koordinate von R_m	13.967,731	15.971,772	17.974,913	19.977,425	22.479,935	24.981,943
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnflanke Rad 2	13.284,464	15.284,739	17.284,985	19.285,175	21.785,345	24.285,468
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1	13.311,752	15.310,604	17.309,757	19.309,108	21.808,485	24.308,004
Δd_s , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig	1,536	1,261	1,015	0,825	0,655	0,532
Δd_r , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückseitig	6,052	4,904	4,057	3,408	2,785	2,304
Δd , radial zum Gleisbogen	7,588	6,165	5,072	4,234	3,439	2,836
$W_{R,erf}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)	27,288	25,865	24,772	23,934	23,139	22,536
Berührung im stirnseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	14.000	16.000				
y-Koordinate von R_2	13.255,731	15.259,772				
Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2	13.284,464	15.284,739				
Berührung im rückseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	14.000	16.000	18.000	20.000	22.500	25.000
y-Koordinate von R_1	13.272,097	15.276,139	17.279,280	19.281,791	21.784,302	24.286,310
Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1	13.311,752	15.310,604	17.309,757	19.309,108	21.808,485	24.308,004

Alle Werte in mm	7	8	9	10	11	12
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:	30.000	40.000	50.000	75.000	100.000	0
y-Koordinate von R_m	29.984,955	39.988,717	49.990,974	74.993,983	99.995,487	
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnflanke Rad 2	29.285,629	39.285,790	49.285,865	74.285,940	99.285,966	
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1	29.307,312	39.306,583	49.306,256	74.305,942	99.305,835	
Δd_s , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig	0,371	0,210	0,135	0,060	0,034	
Δd_r , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückseitig	1,612	0,883	0,556	0,242	0,135	
Δd , radial zum Gleisbogen	1,983	1,093	0,691	0,303	0,169	
$W_{R,erf}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)	21,683	20,793	20,391	20,003	19,869	
Berührung im stirnseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
y-Koordinate von R_2						
Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2						
Berührung im rückseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	30.000					
y-Koordinate von R_1	29.289,321					
Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1	29.307,312					

markierter Bereich entspricht der Beispielrechnung der Abschnitte 3.1.1.2 und 3.1.1.3

Tabelle 3.5b: Erforderlicher Platzbedarf der Spurkränze des Musterfahrwerks 1 im Gleisbogen der Innenschiene (Radlenker) mit frei gewählten Gleisbogenhalbmessern (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Fahrzeugtyp: **Musterfzg.2**

Alle Werte in mm	1	2	3	4	5	6
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:	14.000	16.000	18.000	20.000	22.500	25.000
y-Koordinate von R_m	13.964,240	15.968,719	17.972,201	19.974,984	22.477,767	24.979,992
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnflanke Rad 2	13.284,739	15.284,957	17.285,163	19.285,320	21.785,461	24.285,562
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1	13.311,787	15.310,614	17.309,752	19.309,094	21.808,464	24.307,979
Δd_s , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig	1,261	1,043	0,837	0,680	0,539	0,438
Δd_r , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig	6,087	4,914	4,052	3,394	2,764	2,279
Δd , radial zum Gleisbogen	7,348	5,957	4,890	4,075	3,303	2,716
$W_{R,erf}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)	27,048	25,657	24,590	23,775	23,003	22,416
Berührung im stirnseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	14.000	16.000				
y-Koordinate von R_2	13.252,240	15.256,719				
Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2	13.284,739	15.284,957				
Berührung im rückenseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	14.000	16.000	18.000	20.000	22.500	25.000
y-Koordinate von R_1	13.268,607	15.273,086	17.276,567	19.279,351	21.782,133	24.284,359
Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1	13.311,787	15.310,614	17.309,752	19.309,094	21.808,464	24.307,979

Alle Werte in mm	7	8	9	10	11	12
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:	30.000	40.000	50.000	75.000	100.000	0
y-Koordinate von R_m	29.983,329	39.987,498	49.989,999	74.993,333	99.995,000	
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnflanke Rad 2	29.285,695	39.285,828	49.285,889	74.285,951	99.285,972	
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1	29.307,284	39.306,570	49.306,249	74.305,940	99.305,834	
Δd_s , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig	0,305	0,172	0,111	0,049	0,028	
Δd_r , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig	1,584	0,870	0,549	0,240	0,134	
Δd , radial zum Gleisbogen	1,889	1,042	0,660	0,289	0,161	
$W_{R,erf}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)	21,589	20,742	20,360	19,989	19,861	
Berührung im stirnseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
y-Koordinate von R_2						
Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2						
Berührung im rückenseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
y-Koordinate von R_1						
Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1						

Tabelle 3.5c: Erforderlicher Platzbedarf der Spurkränze des Musterfahrwerks 2 im Gleisbogen der Innenschiene (Radlenker) mit frei gewählten Gleisbogenhalbmessern (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Mind. erforderliche Radlenker-Rillenweite (= max. wirksame Spurkranzdicke) im Gleisbogen
 [ausgehend von der Nenn-Spurkranzdicke (= max. Spurkranzdicke) in GGE von 19,7 mm]

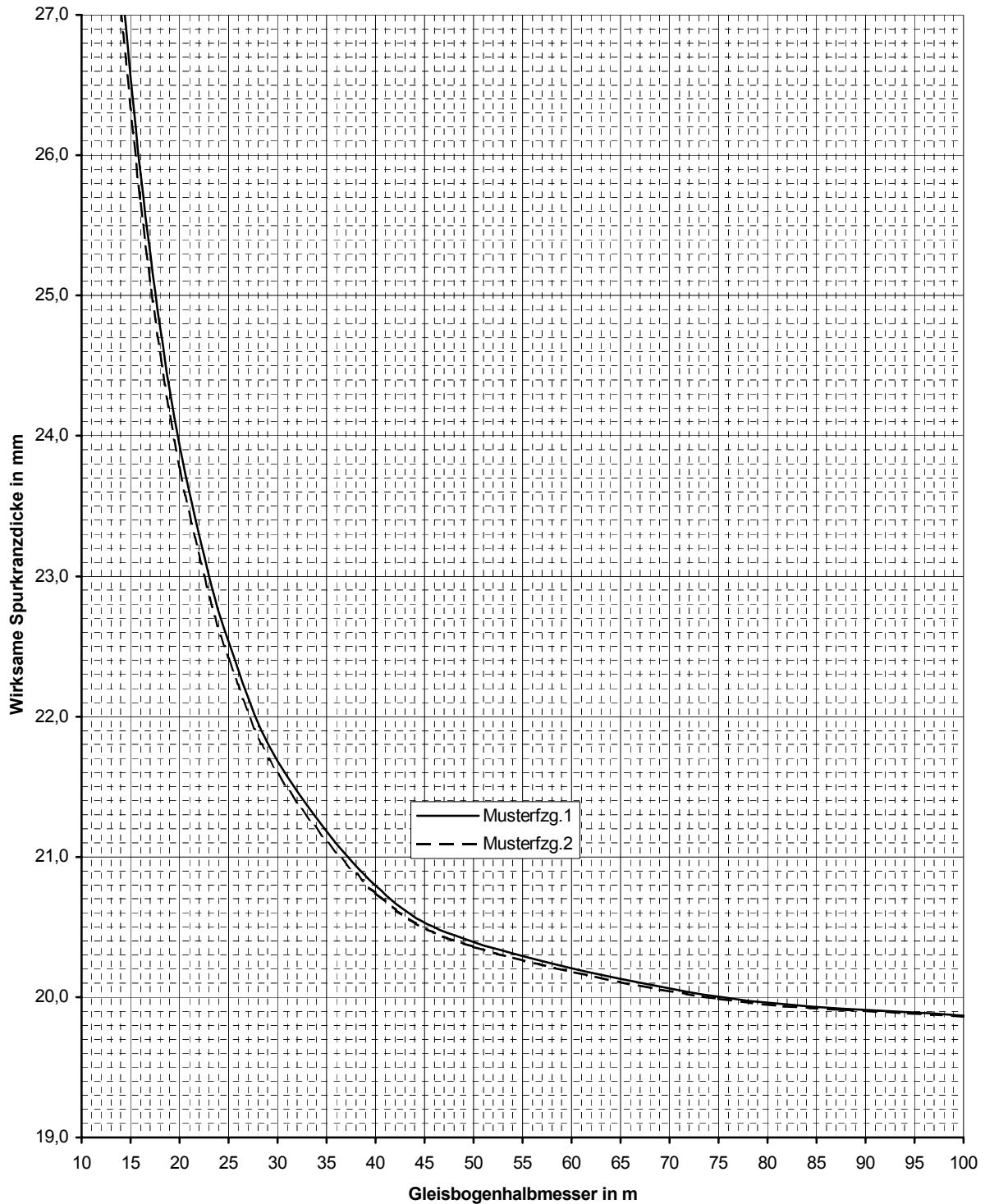


Diagramm 3.3: Erforderliche Rillenweite im Radlenkerbereich (= wirksame Spurkranzdicke) in Abhängigkeit vom Gleisbogenhalbmesser (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Zunahme der wirksamen Spurkranzdicke im Gleisbogen bei Musterfzg. 1
 (bei Nenn-Spurkranzdicke in GGE 19,7 mm)

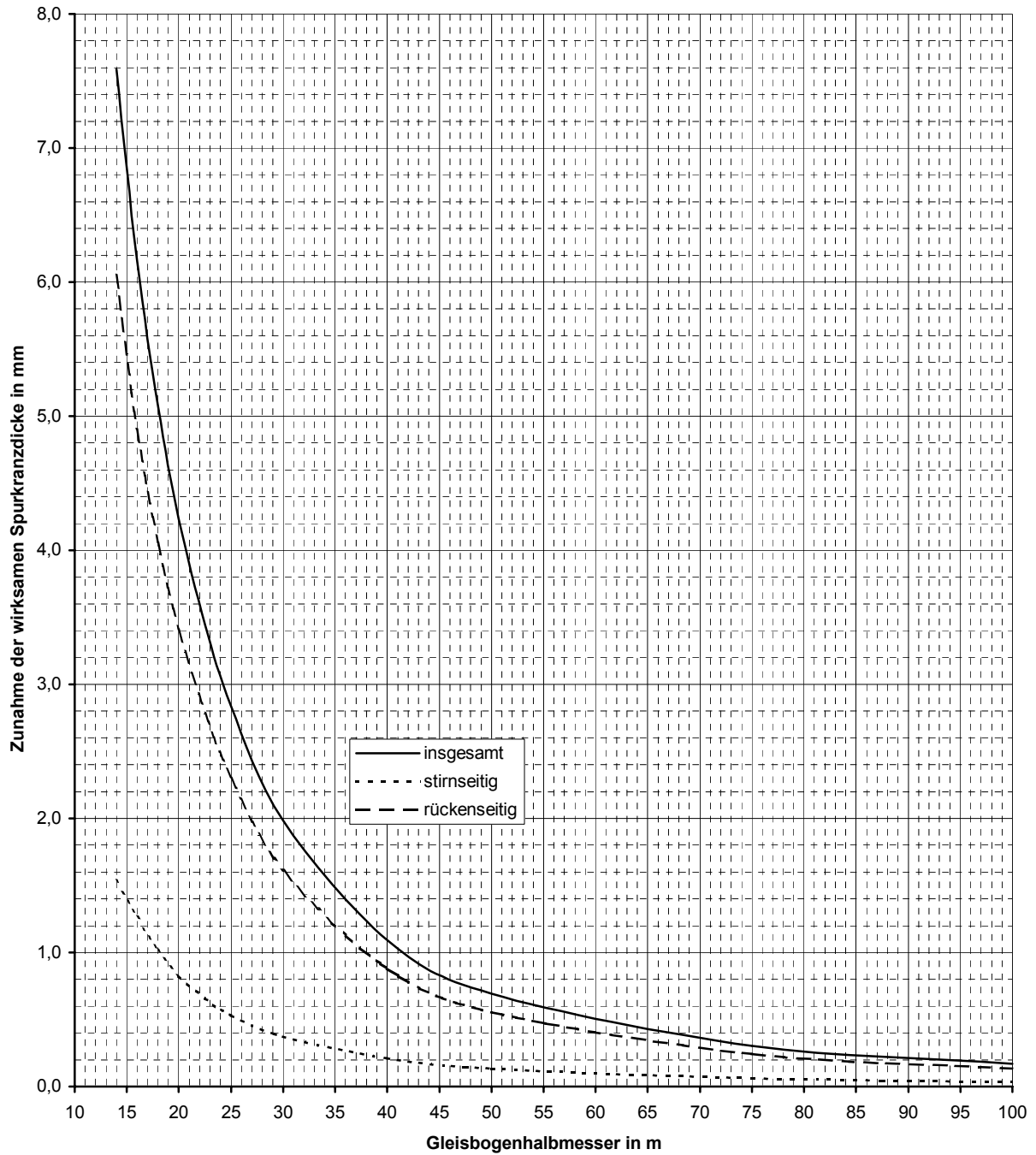


Diagramm 3.4a: Zunahme der wirksamen Spurkranzdicke im Gleisbogen
 (Musterfahrzeug 1)
 (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Zunahme der wirksamen Spurkranzdicke im Gleisbogen bei Musterfzg. 2
 (bei Nenn-Spurkranzdicke in GGE 19,7 mm)

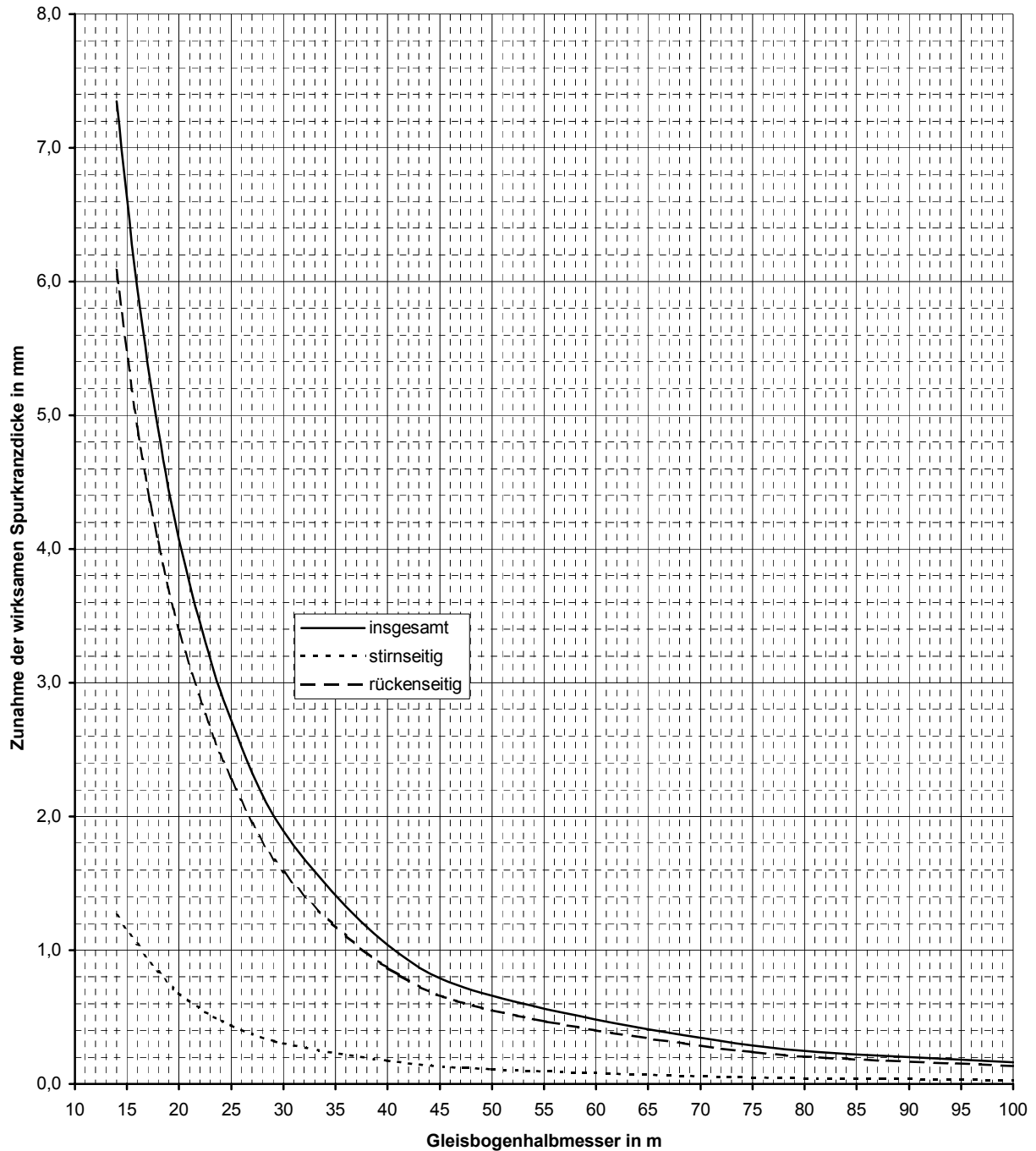


Diagramm 3.4b: Zunahme der wirksamen Spurkranzdicke im Gleisbogen
 (Musterfahrzeug 2)
 (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Fahrzeugtyp: **Musterfzg.1**

Alle Werte in mm	1	2	3	4	5	6
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:	16.000	17.500	20.000	23.000	28.000	37.000
y-Koordinate von R_m	15.971,772	17.474,195	19.977,425	22.980,372	27.983,879	36.987,802
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnflanke Rad 2	15.284,739	16.784,927	19.285,175	22.285,373	27.285,575	36.285,755
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1	15.310,604	16.809,947	19.309,108	22.308,379	27.307,555	36.306,738
Δd_s , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig	1,261	1,073	0,825	0,627	0,425	0,245
Δd_r , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig	4,904	4,247	3,408	2,679	1,855	1,038
Δd , radial zum Gleisbogen	6,165	5,320	4,234	3,306	2,280	1,284
$W_{R,erf}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)	25,865	25,020	23,934	23,006	21,980	20,984
Berührung im stirnseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	16.000					
y-Koordinate von R_2	15.259,772					
Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2	15.284,739					
Berührung im rückenseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m	16.000	17.500	20.000	23.000	28.000	
y-Koordinate von R_1	15.276,139	16.778,562	19.281,791	22.284,739	27.288,246	
Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1	15.310,604	16.809,947	19.309,108	22.308,379	27.307,555	

Alle Werte in mm	7	8	9	10	11	12
Mittl. Gleisbogenhalbmesser R_m:	50.000	75.000	100.000	200.000	0	0
y-Koordinate von R_m	49.990,974	74.993,983	99.995,487	199.997,744		
Gleisbg-halbm. R_2 an der Stirnflanke Rad 2	49.285,865	74.285,940	99.285,966	199.285,991		
Gleisbg-halbm. R_1 an der Rückenfl. Rad 1	49.306,256	74.305,942	99.305,835	199.305,733		
Δd_s , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes stirnseitig	0,135	0,060	0,034	0,009		
Δd_r , zusätzl. Platzbedarf des Spurkranzes rückenseitig	0,556	0,242	0,135	0,033		
Δd , radial zum Gleisbogen	0,691	0,303	0,169	0,042		
$W_{R,erf}$ (wirksame max. Spurkranzdicke)	20,391	20,003	19,869	19,742		
Berührung im stirnseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
y-Koordinate von R_2						
Gleisbg-halbm. R_2 am Berührungspunkt Rad 2						
Berührung im rückenseitigen Eckpunkt Spurkranzflanke / Spurkranzkuppe						
Mittlerer Gleisbogenhalbmesser R_m						
y-Koordinate von R_1						
Gleisbg-halbm. R_1 am Berührungspunkt Rad 1						

Tabelle 3.5d: Erforderlicher Platzbedarf der Spurkränze des maßbestimmenden Musterfahrzeug 1 im Gleisbogen der Innenschiene (Radlenker) bei Grenz-Gleisbogenhalbmessern (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

3.1.2 Leitweiten über Herzstückrille bzw. über die Rille im Radlenkerbereich

Grundsätzlich gelten auch hier die Festlegungen unter 2.1.2.

3.1.2.1 Die Anfahrpunkte der Räder 1 bis 3 liegen im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Neuzustand des Fahrwerks und den Grenzgleisbogenhalbmesser $R_m' = 75 \text{ m}$ berechnet.

Verbindungsline g_1 der Mittelpunkte von den die Hyperbeln der Spurkranz-Abchnittsfläche ersetzenden Radien $r_{A,R}$ bei Rad 1 (rückenseitig) und $r_{A,S}$ bei Rad 2 (stirnseitig):

$$g_1 = \sqrt{a_F^2 + (r_{A,R} + r_{A,S} - d_{\min}^*)^2} \quad \text{nach (39)}$$

$$r_{A,R} = 2.208,667 \text{ mm} \quad \text{aus 3.1.1.1}$$

$$r_{A,S} = 1.473,000 \text{ mm} \quad \text{aus 3.1.1.1}$$

$$d_{\min}^* = d_{\min} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$g_1 = \sqrt{1.900^2 + (2.208,667 + 1.473,000 - 18,7)^2} = \underline{4.126,418 \text{ mm}}$$

Horizontaler Winkel ϕ zwischen g_1 und der Radachse:

$$\phi = \arcsin(a_F / g_1) = \arcsin(1.900 / 4.126,418) = \underline{27,4160^\circ} \quad \text{nach (40)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 am Rad 1:

$$\alpha_1 = (\phi + \alpha_1) - \phi \quad \text{nach (41)}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \arcsin \left\{ \frac{[(R_2 + r_{A,S})^2 - g_1^2 - (R_1 - r_{A,R})^2]}{2 g_1 (R_1 - r_{A,R})} \right\} \quad \text{nach (42)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 20,0 \text{ mm nach 3.1.1.4 für } R_m = 75 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 20,0 + 1,0 = \underline{21,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 74.282,5 + 21,0 = \underline{74.303,5 \text{ mm}}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \arccos \left\{ \frac{[(74.282,5 + 1.473,0)^2 - 4.126,418^2 - (74.303,5 - 2.208,667)^2]}{[2 \cdot 4.126,418 \cdot (74.303,5 - 2.208,667)]} \right\} = \underline{28,2327^\circ}$$

$$\alpha_1 = 28,2327^\circ - 27,4160^\circ = \mathbf{0,8167^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = \phi - \gamma \quad \text{nach (45)}$$

$$\gamma = \arcsin \left\{ \frac{[(R_1 - r_{A,R}) \times \sin(\phi + \alpha_1)]}{(R_2 + r_{A,S})} \right\} \quad \text{nach (46)}$$

$$\gamma = \arcsin \left\{ \frac{[(74.303,5 - 2.208,667) \cdot \sin 28,2327^\circ]}{(74.282,5 + 1.473,000)} \right\}$$

$$\gamma = \underline{26,7562^\circ}$$

$$\alpha_2 = 27,4160^\circ - 26,7562^\circ = \mathbf{0,6598^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_3 am Rad 3:

$$\alpha_3 = \arctan \left\{ \frac{(R_1 - r_{A,R})_x}{[(R_1 - r_{A,R})_y + r_{A,R} + l_{\max}^* - r_{A,S}]} \right\} \quad \text{nach (47)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_x = (R_1 - r_{A,R}) \cdot \sin \alpha_1 \quad \text{nach (48)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_x = (74.303,5 - 2.208,667) \cdot \sin 0,8167^\circ = \underline{1.027,586 \text{ mm}}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = (R_1 - r_{A,R}) \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{nach (49)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = (74.303,5 - 2.208,667) \cdot \cos 0,8167^\circ = \underline{72.087,510 \text{ mm}}$$

$$\alpha_3 = \arctan [1.027,586 / (72.087,510 + 2.208,667 + 1.411,8 - 1.473,0)] = \mathbf{0,7931^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_3 im Anfahrpunkt des Rades 3:

$$R_3 = \sqrt{(R_1 - r_{A,R})_x^2 + [(R_1 - r_{A,R})_y + r_{A,R} + l_{\max}^* - r_{A,S}]^2} + r_{A,S} \quad \text{nach (50)}$$

$$R_3 = \sqrt{(1.027,586)^2 + (72.087,510 + 2.208,667 + 1.411,8 - 1.473,0)^2} + 1.473,0$$

$$\mathbf{R_3 = \underline{75.715,09 \text{ mm}}}$$

3.1.2.2 Die Anfahrpunkte der Räder 1, 2 und 4 liegen im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Verschleißgrenzzustand des Fahrwerks und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 75 \text{ m}$ berechnet.

Verbindungsline g_1 der Mittelpunkte von den die Hyperbeln der Spurkranz-Abchnittsfläche ersetzenden Radien $r_{A,R}$ bei Rad 1 (rückenseitig) und $r_{A,S}$ bei Rad 2 (stirnseitig):

$$g_1 = \sqrt{a_F^2 + (r_{A,R} + r_{A,S} - d_{\min}^*)^2} \quad \text{nach (39)}$$

$$r_{A,S/R} = (0,25 l_A^2 + d_{S/R}^{*2}) / (2 d_{S/R}^*) \quad \text{nach (201a/b)}$$

$$l_A = 102,137 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.6}$$

$$d_S^* = 0,667 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.8}$$

$$d_R^* = 0,667 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.4}$$

$$r_{A,S} = (0,25 \cdot 102,137^2 + 0,667^2) / (2 \cdot 0,667) = \underline{1.956,333 \text{ mm}}$$

$$r_{A,R} = (0,25 \cdot 102,137^2 + 0,667^2) / (2 \cdot 0,667) = \underline{1.956,333 \text{ mm}}$$

$$d_{\min}^* = d_{\min} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$g_1 = \sqrt{1.900^2 + (1.956,333 + 1.956,333 - 12,5)^2} = \underline{4.338,352 \text{ mm}}$$

Horizontaler Winkel ϕ zwischen g_1 und der Radachse:

$$\phi = \arcsin (a_F / g_1) = \arcsin (1.900 / 4.338,352) = \underline{25,9734^\circ} \quad \text{nach (40)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 am Rad 1:

$$\alpha_1 = (\phi + \alpha_1) - \phi \quad \text{nach (41)}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \arcsin \{ [(R_2 + r_{A,S})^2 - g_1^2 - (R_1 - r_{A,R})^2] / [2 g_1 (R_1 - r_{A,R})] \} \quad \text{nach (42)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 20,0 \text{ mm nach 3.1.1.4 für } R_m = 75 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 20,0 + 1,0 = \underline{21,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 74.282,5 + 21,0 = \underline{74.303,5 \text{ mm}}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \arccos \left\{ \frac{[(74.282,5 + 1.956,333)^2 - 4.338,352^2 - (199.303,5 - 1.956,333)^2]}{2 \cdot 4.338,352 \cdot (199.303,5 - 1.956,333)} \right\}$$

$$(\phi + \alpha_1) = \underline{26,5056^\circ}$$

$$\alpha_1 = 26,9779^\circ - 25,9734^\circ = \mathbf{1,0045^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = \phi - \gamma \quad \text{nach (45)}$$

$$\gamma = \arcsin \left\{ \frac{(R_1 - r_{A,R}) \cdot \sin [(\phi + \alpha_1)]}{(R_2 + r_{A,S})} \right\} \quad \text{nach (46)}$$

$$\gamma = \arcsin \left\{ \frac{(74.303,5 - 1.956,333) \cdot \sin 26,5056^\circ}{(199.282,5 + 1.956,333)} \right\}$$

$$\gamma = \underline{25,4986^\circ}$$

$$\alpha_2 = \phi - \gamma = 25,9734^\circ - 25,4986^\circ = \mathbf{0,4748^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_4 am Rad 4:

$$\alpha_4 = \arctan \left\{ \frac{[a_F - (R_1 - r_{A,R})_x]}{[(R_1 - r_{A,R})_y + 2 r_{A,R} - d_{\min}^* + l_{\min}^*]} \right\} \quad \text{nach (51)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_x = (R_1 - r_{A,R}) \cdot \sin \alpha_1 \quad \text{nach (48)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_x = (74.303,5 - 1.956,333) \cdot \sin 1,0045^\circ = \underline{1.268,313 \text{ mm}}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = (R_1 - r_{A,R}) \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{nach (49)}$$

$$(R_1 - r_{A,R})_y = (74.303,5 - 1.956,333) \cdot \cos 1,0045^\circ = \underline{72.336,049 \text{ mm}}$$

$$\alpha_4 = \arctan \left[\frac{(1.900 - 1.268,313)}{(72.336,049 + 2 \cdot 1.956,333 - 12,5 + 1.403,5)} \right]$$

$$\alpha_4 = \mathbf{0,4662^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_4 im Anfahrpunkt des Rades 4:

$$R_4 = \sqrt{[a_F - (R_1 - r_{A,R})_x]^2 + [(R_1 - r_{A,R})_y + 2 r_{A,R} - d_{\min}^* + l_{\min}^*]^2} - r_{A,R} \quad \text{nach (52)}$$

$$R_4 = \sqrt{(1.900 - 1.268,313)^2 + (72.336,049 + 2 \cdot 1.956,333 - 12,5 + 1.403,5)^2} - 1.956,333$$

$$R_4 = \underline{\mathbf{75.685,953 \text{ mm}}}$$

3.1.2.3 Der Anfahrpunkt des Rades 1 liegt im Eckpunkt Hyperbel / Spurkranz- kuppe, die Anfahrpunkte der Räder 2 und 3 liegen im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Neuzustand des Fahrwerks und den Grenz-
Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 28 \text{ m}$ berechnet.

Die horizontale Verbindungslinie g_2 vom Anfahrpunkt im Eckpunkt E_R am Rad 1 zum
Mittelpunkt des die stirnseitige Hyperbel am Rad 2 ersetzenden Radius $r_{A,S}$:

$$g_2 = \sqrt{(a_F + 0,5 l_A)^2 + (r_{A,S} - d_S^* - d_{K,min})^2} \quad \text{nach (210)}$$

$$d_S^* = 2,000 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_{K,min} = d_{min}^* - d_R^* - d_S^* \quad \text{nach (33)}$$

$$d_{min}^* = d_{min} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a = a^*)$$

$$d_R^* = 1,333 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.3}$$

$$d_{K,min} = 18,7 - 1,333 - 2,000 = \underline{15,367 \text{ mm}}$$

$$g_2 = \sqrt{(1.900 + 0,5 \cdot 153,467)^2 + (1.473,0 - 2,0 - 15,367)^2} = \underline{2.454,861 \text{ mm}}$$

Summe der horizontalen Anfahrwinkel $(\alpha_1 + \alpha_2)$ zwischen R_1 und $(R_2 + r_{A,S})$:

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos \left\{ \frac{[R_1^2 + (R_2 + r_{A,S})^2 - g_2^2]}{[2 R_1 (R_2 + r_{A,S})]} \right\} \quad \text{nach (211)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 22,0 \text{ mm nach 3.1.1.4 für } R_m = 28 \text{ m}$$

$$W_{R,max} = 22,0 + 1,0 = \underline{23,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 27.282,5 + 23,0 = \underline{27.305,5 \text{ mm}}$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos \left\{ \frac{[27.305,5^2 + (27.282,5 + 1.473,0)^2 - 2.454,861^2]}{[2 \cdot 27.305,5 \cdot (27.282,5 + 1.473,0)]} \right\}$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \underline{4,0512^\circ}$$

Horizontaler Winkel δ zwischen R_1 und g_2 :

$$\delta = 180^\circ - \arcsin [\sin (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot (R_2 + r_{A,S}) / g_2] \quad \text{nach (212)}$$

$$\delta = 180^\circ - \arcsin [\sin 4,0512^\circ \cdot (27.282,5 + 1.473,0) / 2.454,861] = \underline{124,1524^\circ}$$

Horizontaler Winkel δ_1 zwischen R_1 und g_2 :

$$\delta_1 = \arcsin [(a_F + 0,5 l_A) / g_2] \quad \text{nach (213)}$$

$$\delta_1 = \arcsin [(1.900 + 0,5 \cdot 153,467) / 2.454,861] = \underline{36,3673^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 im Eckpunkt der Spurkranz-Abschnittsfläche des Rades 1:

$$\alpha_1 = 90^\circ - (\delta - \delta_1) = 90^\circ - (124,1524^\circ - 36,3673^\circ) = \underline{2,2149^\circ} \quad \text{nach (214)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = (\alpha_1 + \alpha_2) - \alpha_1 = 4,0512^\circ - 2,2149^\circ = \underline{1,8363^\circ} \quad \text{nach (215)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_3 am Rad 3:

$$\alpha_3 = \arcsin \{(R_3 - r_{A,S})_x / [(R_2 + r_{A,S})_y - 2 r_{A,S} + d_{\min}^* + l_{\max}^*]\} \quad \text{nach (216)}$$

$$(R_3 - r_{A,S})_x = a_F - (R_2 + r_{A,S}) \cdot \sin \alpha_2 \quad \text{nach (217)}$$

$$(R_3 - r_{A,S})_x = 1.900 - (27.282,5 + 1.473,0) \cdot \sin 1,8363^\circ = \underline{978,567 \text{ mm}}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{nach (218)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (27.282,5 + 1.473,0) \cdot \cos 1,8363^\circ = \underline{28.740,733 \text{ mm}}$$

$$\alpha_3 = \arcsin [(978,567 / (28.740,733 - 2 \cdot 1.473,0 + 18,7 + 1.411,8))] = \underline{2,0585^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_3 im Anfahrpunkt des Rades 3:

$$R_3 = \sqrt{(R_3 - r_{A,S})_x^2 + [(R_2 + r_{A,S})_y - 2 r_{A,S} + d_{\min}^* + l_{\max}^*]^2} + r_{A,S} \quad \text{nach (219)}$$

$$R_3 = \sqrt{978,567^2 + (28.740,733 - 2 \cdot 1.473,0 + 18,7 + 1.411,8)^2} + 1.473,0$$

$$R_3 = \underline{28.715,814 \text{ mm}}$$

3.1.2.4 Der Anfahrpunkt des Rades 1 liegt im Eckpunkt Hyperbel / Spurkranz- kuppe, die Anfahrpunkte der Räder 2 und 4 liegen im Bereich der Spurkranzflanken (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Verschleißgrenzzustand des Fahrwerks und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 37 \text{ m}$ berechnet.

Die horizontale Verbindungslinie g_2 vom Anfahrpunkt im Eckpunkt E_R am Rad 1 zum Mittelpunkt des die stirnseitige Hyperbel am Rad 2 ersetzenden Radius $r_{A,S}$:

$$g_2 = \sqrt{(a_F + 0,5 l_A)^2 + (r_{A,S} - d_S^* - d_{K,min})^2} \quad \text{nach (210)}$$

$$l_A = 102,137 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.6}$$

$$r_{A,S} = 1.956,333 \text{ mm} \quad \text{aus 3.1.2.2}$$

$$d_S^* = 0,667 \text{ mm} \quad \text{aus 3.1.2.2}$$

$$d_{K,min} = d_{min}^* - d_R^* - d_S^* \quad \text{nach (33)}$$

$$d_{min}^* = d_{min} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a = a^*)$$

$$d_R^* = 0,667 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.4}$$

$$d_{K,min} = 12,5 - 0,667 - 0,667 = \underline{11,167 \text{ mm}}$$

$$g_2 = \sqrt{(1.900 + 0,5 \cdot 102,137)^2 + (1.956,333 - 0,667 - 11,167)^2} = \underline{2.754,587 \text{ mm}}$$

Summe der horizontalen Anfahrwinkel ($\alpha_1 + \alpha_2$) zwischen R_1 und $(R_2 + r_{A,S})$:

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos \{ [R_1^2 + (R_2 + r_{A,S})^2 - g_2^2] / [2 R_1 (R_2 + r_{A,S})] \} \quad \text{nach (211)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 21,0 \text{ mm} \quad \text{nach 3.1.1.4 für } R_m = 37 \text{ m}$$

$$W_{R,max} = 21,0 + 1,0 = \underline{22,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 36.282,5 + 22,0 = \underline{36.304,5 \text{ mm}}$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos \{ [36.304,5^2 + (36.282,5 + 1.956,333)^2 - 2.754,587^2] / [2 \cdot 36.304,5 \cdot (36.282,2 + 1.956,333)] \}$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \underline{3,0161^\circ}$$

Horizontaler Winkel δ zwischen R_1 und g_2 :

$$\delta = 180^\circ - \arcsin [\sin (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot (R_2 + r_{A,S}) / g_2] \quad \text{nach (212)}$$

$$\delta = 180^\circ - \arcsin [\sin 3,0161^\circ \cdot (36.282,5 + 1.956,333) / 2.754,587] = \underline{133,0780^\circ}$$

Horizontaler Winkel δ_1 zwischen R_1 und g_2 :

$$\delta_1 = \arcsin [(a_F + 0,5 l_A) / g_2] \quad \text{nach (213)}$$

$$\delta_1 = \arcsin [(1.900 + 0,5 \cdot 102,137) / 2.754,587] = \underline{44,9034^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 im Eckpunkt der Spurkranz-Abschnittsfläche des Rades 1:

$$\alpha_1 = 90^\circ - (\delta - \delta_1) = 90^\circ - (133,0780^\circ - 44,9034^\circ) = \underline{1,8254^\circ} \quad \text{nach (214)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = (\alpha_1 + \alpha_2) - \alpha_1 = 3,0161^\circ - 1,8254^\circ = \underline{1,1907^\circ} \quad \text{nach (215)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_4 am Rad 4:

$$\alpha_4 = \arcsin \{(R_2 + r_{A,S})_x / [(R_2 + r_{A,S})_y - r_{A,S} + l_{\max}^* + r_{A,R}]\} \quad \text{nach (220)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_x = (R_2 + r_{A,S}) \cdot \sin \alpha_2 \quad \text{nach (221)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_x = (36.282,5 + 1.956,333) \cdot \sin 1,1907^\circ = \underline{794,608 \text{ mm}}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{nach (218)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (36.282,5 + 1.956,333) \cdot \cos 1,1907^\circ = \underline{38.230,576 \text{ mm}}$$

$$\alpha_4 = \arcsin [794,608 / (38.230,576 - 1.956,333 + 1.403,5 + 1.956,333)] = \underline{1,1486^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_4 im Anfahrpunkt des Rades 4:

$$R_4 = \sqrt{(R_2 + r_{A,S})_x^2 + [(R_2 + r_{A,S})_y - r_{A,S} + l_{\max}^* + r_{A,R}]^2} - r_{A,R} \quad \text{nach (222)}$$

$$R_4 = \sqrt{794,608^2 + (38.230,576 - 1.956,333 + 1.403,5 + 1.956,333)^2} - 1.956,333$$

$$R_4 = \underline{\underline{37.685,708 \text{ mm}}}$$

3.1.2.5 Die Anfahrpunkte der Räder 1 und 3 liegen im Eckpunkt Hyperbel / Spurkranzkuppe, der Anfahrpunkt des Rades 2 liegt im Bereich der Spurkranzstirnflanke (Hyperbelbereich)

Beispielhaft werden die Werte für den Neuzustand des Fahrwerks und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 17,5 \text{ m}$ berechnet.

Summe der horizontalen Anfahrwinkel ($\alpha_1 + \alpha_2$) zwischen R_1 und $(R_2 + r_{A,S})$:

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos \left\{ \frac{[R_1^2 + (R_2 + r_{A,S})^2 - g_2^2]}{[2 R_1 (R_2 + r_{A,S})]} \right\} \quad \text{nach (211)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 25,0 \text{ mm nach 3.1.1.4 für } R_m = 17,5 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 25,0 + 1,0 = \underline{26,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 16.782,5 + 26,0 = \underline{16.808,5 \text{ mm}}$$

$$g_2 = 2.454,861 \text{ mm aus 3.1.2.3}$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos \left\{ \frac{[16.808,5^2 + (16.782,5 + 1.473,0)^2 - 2.454,861^2]}{[2 \cdot 16.808,5 \cdot (16.782,2 + 1.473,0)]} \right\}$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \underline{6,4898^\circ}$$

Horizontaler Winkel δ zwischen R_1 und g_2 :

$$\delta = 180^\circ - \arcsin \left[\sin (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot (R_2 + r_{A,S}) / g_2 \right] \quad \text{nach (212)}$$

$$\delta = 180^\circ - \arcsin \left[\sin 6,4898^\circ \cdot (16.782,5 + 1.473,0) / 2.454,861 \right] = \underline{122,8056^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 im Eckpunkt der Spurkranz-Abschnittsfläche des Rades 1:

$$\alpha_1 = 90^\circ - (\delta - \delta_1) \quad \text{nach (214)}$$

$$\delta_1 = 36,3673^\circ \text{ aus 3.1.2.3}$$

$$\alpha_1 = 90^\circ - (122,8056^\circ - 36,3673^\circ) = \underline{3,5617^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = (\alpha_1 + \alpha_2) - \alpha_1 = 6,4898^\circ - 3,5617^\circ = \underline{\underline{2,9281^\circ}} \quad \text{nach (215)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_3 am Rad 3:

$$\alpha_3 = \arctan (R_{3,x} / R_{3,y}) \quad \text{nach (86)}$$

$$R_{3,x} = R_1 \times \sin \alpha_1 = 16.808,5 \cdot \sin 3,5617^\circ = \underline{\underline{1.044,208 \text{ mm}}} \quad \text{nach (56)}$$

$$R_{3,y} = (R_2 + r_{A,S})_y - r_{A,S} + d_{\min}^* + l_{\max}^* - d_S^* \quad \text{nach (223)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (R_2 + r_{A,S}) \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{nach (218)}$$

$$(R_2 + r_{A,S})_y = (16.782,5 + 1.473,0) \cdot \cos 2,9281^\circ = \underline{\underline{18.231,667 \text{ mm}}}$$

$$r_{A,S} = 1.956,333 \text{ mm} \quad \text{aus 3.1.2.2}$$

$$d_{\min}^* = d_{\min} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a = a^*)$$

$$l_{\max}^* = l_{\max} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a = a^*)$$

$$d_S^* = 2,000 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$R_{3,y} = 18.231,667 - 1.473,0 + 18,7 + 1.411,8 - 2,0 = \underline{\underline{18.187,167 \text{ mm}}}$$

$$\alpha_3 = \arctan (1.044,208 / 18.187,167) = \underline{\underline{3,2860^\circ}}$$

Gleisbogenhalbmesser R_3 im Anfahrpunkt des Rades 3:

$$R_3 = \sqrt{R_{3,x}^2 + R_{3,y}^2} = \sqrt{1.044,208^2 + 18.187,167^2} = \underline{\underline{18.217,119 \text{ mm}}} \quad \text{nach (27)}$$

3.1.2.6 Die Anfahrpunkte der Räder 1 und 4 liegen im Eckpunkt Hyperbel / Spurkranzkuppe, der Anfahrpunkt des Rades 2 liegt im Bereich der Spurkranzstirnflanke (Hyperbelbereich)

Bei dem gewählten Beispiel tritt diese Konstellation der Anfahrpunkte nicht auf!

3.1.2.7 Die Anfahrpunkte der Räder 1 bis 4 liegen alle im Eckpunkt Hyperbel / Spurkranzkuppe

Beispielhaft werden die Werte für den Neuzustand des Fahrwerks und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 16 \text{ m}$ berechnet.

Summe der horizontalen Anfahrwinkel ($\alpha_1 + \alpha_2$) zwischen R_1 und R_2 :

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos [(R_1^2 + R_2^2 - g_3^2) / (2 \cdot R_1 \cdot R_2)] \quad \text{nach (226)}$$

$$R_1 = R_2 + W_{R,\max} \quad \text{nach (43)}$$

$$W_{R,\max} = W_R + \Delta W \quad \text{nach (44)}$$

$$W_R = 26,0 \text{ mm nach 3.1.1.4 für } R_m = 16 \text{ m}$$

$$W_{R,\max} = 26,0 + 1,0 = \underline{27,0 \text{ mm}}$$

$$R_1 = 15.282,5 + 27,0 = \underline{15.309,5 \text{ mm}}$$

$$g_3 = \sqrt{a_F^2 + d_{K,\min}^2} \quad \text{nach (227)}$$

$$d_{K,\min} = d_{\min}^* - d_R^* - d_S^* \quad \text{nach (33)}$$

$$d_{\min}^* = d_{\min} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a = a^*)$$

$$d_R^* = 1,333 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.2.3}$$

$$d_S^* = 2,000 \text{ mm} \quad \text{aus 2.1.1.3}$$

$$d_{K,\min} = 18,7 - 1,333 - 2,0 = \underline{15,367 \text{ mm}}$$

$$g_3 = \sqrt{1.900^2 + 15,367^2} = \underline{1.900,062 \text{ mm}}$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos [(15.309,5^2 + 15.282,5^2 - 1.900,062^2) / (2 \cdot 15.309,5 \cdot 15.282,5)]$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \underline{7,1211^\circ}$$

Horizontaler Winkel ρ zwischen R_1 und g_3 :

$$\rho_2 = \arcsin [\sin (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot R_2 / g_3] \quad \text{nach (228)}$$

$$\rho_2 = \arcsin (\sin 7,1211^\circ \cdot 15.282,5 / 1.900,062) = \underline{85,6268^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 am Rad 1:

$$\alpha_1 = 90^\circ - \rho - \rho_1 \quad \text{nach (229)}$$

$$\rho_1 = \arctan(d_{K,\min} / a_F) = \arctan(15,367 / 1.900) = \underline{0,4634^\circ} \quad \text{nach (230)}$$

$$\alpha_1 = 90^\circ - 85,6268^\circ - 0,4634^\circ = \underline{\mathbf{3,9098^\circ}}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = (\alpha_1 + \alpha_2) - \alpha_1 = 7,1211^\circ - 3,9098^\circ = \underline{\mathbf{3,2113^\circ}} \quad \text{nach (215)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_3 am Rad 3:

$$\alpha_3 = \arctan(R_{3,x} / R_{3,y}) \quad \text{nach (86)}$$

$$R_{3,x} = R_1 \cdot \sin \alpha_1 = 15.309,5 \cdot \sin 3,9098^\circ = \underline{1.043,896 \text{ mm}} \quad \text{nach (56)}$$

$$R_{3,y} = R_1 \cdot \cos \alpha_1 + d_R^* + l_{\max}^* - d_S^* \quad \text{nach (231)}$$

$$l_{\max}^* = l_{\max} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a = a^*)$$

$$R_{3,y} = 15.309,5 \cdot \cos 3,9098^\circ + 1,333 + 1.411,8 - 2,0 = \underline{16.685,002 \text{ mm}}$$

$$\alpha_3 = \arctan(R_{3,x} / R_{3,y}) = \arctan(1.043,896 / 16.685,002) = \underline{\mathbf{3,5800^\circ}}$$

Gleisbogenhalbmesser R_3 im Anfahrpunkt (Eckpunkt) am Rad 3:

$$R_3 = \sqrt{R_{3,x}^2 + R_{3,y}^2} = \sqrt{1.043,896^2 + 16.685,002^2} = \underline{\mathbf{16.717,626 \text{ mm}}} \quad \text{nach (27)}$$

3.1.2.8 Die Anfahrpunkte der Räder 1, 2 und 4 liegen alle im Eckpunkt Hyperbel / Spurkranzkuppe

Beispielhaft werden die Werte für den Neuzustand des Fahrwerks und den Grenz-Gleisbogenhalbmesser $R_m' = 16 \text{ m}$ berechnet.

Summe der horizontalen Anfahrwinkel ($\alpha_1 + \alpha_2$) zwischen R_1 und R_2 :

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos [(R_1^2 + R_2^2 - g_3^2) / (2 \cdot R_1 \cdot R_2)] \quad \text{nach (226)}$$

$$R_1 = 15.309,5 \text{ mm} \quad \text{aus 3.1.2.8}$$

$$g_3 = \sqrt{a_F^2 + d_{K,\min}^2} \quad \text{nach (227)}$$

$$d_{K,\min} = 11,167 \text{ mm} \quad \text{aus 3.1.2.4}$$

$$g_3 = \sqrt{1.900^2 + 11,167^2} = \underline{1.900,033 \text{ mm}}$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arccos [(15.309,5^2 + 15.282,5^2 - 1.900,033^2) / (2 \cdot 15.309,5 \cdot 15.282,5)]$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \underline{7,1210^\circ}$$

Horizontaler Winkel ρ zwischen R_2 und g_3 :

$$\rho = \arcsin [\sin (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot R_2 / g_3] \quad \text{nach (228)}$$

$$\rho = \arcsin (\sin 7,1210^\circ \cdot 15.282,5 / 1.900,033) = \underline{85,6268^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_1 am Rad 1:

$$\alpha_1 = 90^\circ - \rho - \rho_1 \quad \text{nach (229)}$$

$$\rho_1 = \arctan (d_{K,\min} / a_F) = \arctan (11,167 / 1.900) = \underline{0,3367^\circ} \quad \text{nach (230)}$$

$$\alpha_1 = 90^\circ - 85,6268^\circ - 0,3367^\circ = \underline{4,0364^\circ}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_2 am Rad 2:

$$\alpha_2 = (\alpha_1 + \alpha_2) - \alpha_1 = 7,1210^\circ - 4,0364^\circ = \underline{3,0846^\circ} \quad \text{nach (215)}$$

Horizontaler Anfahrwinkel α_4 am Rad 4:

$$\alpha_4 = \arctan (R_{4,x} / R_{4,y}) \quad \text{nach (86)}$$

$$R_{4,x} = R_2 \cdot \sin \alpha_2 = 15.282,5 \cdot \sin 3,0846^\circ = \underline{822,357 \text{ mm}} \quad \text{nach (56)}$$

$$R_{4,y} = R_2 \cdot \cos \alpha_2 - d_S^* + l_{\min}^* + d_R^* \quad \text{nach (232)}$$

$$l_{\min}^* = l_{\min} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a = a^*)$$

$$R_{4,y} = 15.282,5 \cdot \cos 3,0846^\circ + 0,667 + 1.403,5 - 0,667 = \underline{16.663,858 \text{ mm}}$$

$$\alpha_4 = \arctan (R_{4,x} / R_{4,y}) = \arctan (822,357 / 16.663,858) = \underline{2,8252^\circ}$$

Gleisbogenhalbmesser R_4 im Anfahrpunkt (Eckpunkt) am Rad 4:

$$R_4 = \sqrt{R_{4,x}^2 + R_{4,y}^2} = \sqrt{822,357^2 + 16.663,858^2} = \underline{16.684,138 \text{ mm}} \quad \text{nach (27)}$$

3.1.2.9 Leitweiten über Herzstückrille bzw. über die Rille am Radlenker

Die Ermittlung erfolgt analog zu 2.1.2.9 aus den Berechnungen unter 3.1.2.1 bis 3.1.2.8 nach (91) bis (94). Aus den beispielhaft für alle vier Räder des Musterfahrwerks 1 berechneten mittleren Gleisbogenhalbmessern 16 m und 75 m können die folgenden Werte berechnet werden:

Mindestens erforderliche vorläufige Leitweite über Herzstückrille:

$$L_{H,\min}^{*'} = R_3 - R_1 \quad \text{nach (91)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$L_{H,\min}^{*'} = 16.717,63 - 15.309,50 = \underline{1.408,126 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$L_{H,\min}^{*'} = 75.715,09 - 74.303,50 = \underline{1.411,588 \text{ mm}}$$

Größte zulässige vorläufige Leitweite über die Rille am Radlenker:

$$L_{R,\max}^{*'} = R_4 - R_2 \quad \text{nach (92)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$L_{R,\max}^{*'} = 16.684,14 - 15.282,50 = \underline{1.401,638 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$L_{R,\max}^{*'} = 75.685,95 - 74.282,50 = \underline{1.403,453 \text{ mm}}$$

Mindestens erforderliche Leitweite über Herzstückrille:

$$L_{H,\min}^* = L_{H,\min}^{*'} + Q_a \quad \text{nach (93)}$$

$Q_a = 2$ mm (aus betrieblichen Erfahrungen bzw. Messungen)

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$L_{H,\min}^* = 1.408,126 + 2 = \underline{1.410,126 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$L_{H,\min}^* = 1.411,588 + 2 = \underline{\underline{1.413,588 \text{ mm}}}$$

Größte zulässige Leitweite über die Rille am Radlenker:

$$L_{R,\max}^* = L_{R,\max}^{*'} - Q_i \quad \text{nach (94)}$$

$Q_i = 1$ mm (aus betrieblichen Erfahrungen bzw. Messungen)

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$L_{R,\max}^* = 1.401,638 - 1 = \underline{\underline{1.400,638 \text{ mm}}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$L_{R,\max}^* = 1.403,453 - 1 = \underline{\underline{1.402,453 \text{ mm}}}$$

3.1.3 Spurweiten im Herzstückbereich

Erforderliche Mindest-Spurweite im Herzstückbereich:

$$S_{\min}^* = L_{H,\min}^* + W_{R,\max}^* \quad \text{nach (95)}$$

Anmerkung: Für $L_{H,\min}^*$ muss der Größtwert aus allen untersuchten Fahrwerken gewählt werden, bei dem Beispiel tritt er beim Musterfahrwerk 1 auf (vgl. Auswertung in Tabelle 3.7).

Nennwert der jeweiligen Spurweite unter Berücksichtigung der negativen Bauteilanz:

$$S_N^* = S_{\min}^* + |-\Delta S| \quad \text{nach (96)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$L_{H,\min}^* = 1.410,126 \text{ mm}$$

$$W_{R,\max}^* = 27,0 \text{ mm}$$

$$S_{\min}^* = 1.410,126 + 27,0 = 1.437,126 \text{ mm}$$

$$S_N^* = 1.437,126 + |-1,0| = 1.438,126 \rightarrow \underline{\mathbf{1.438 \text{ mm}}} \text{ (hier tritt eine geringfügige Überdeckung auf!)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75 \text{ m}$:

$$L_{H,\min}^* = 1.413,588 \text{ mm}$$

$$W_{R,\max}^* = 21,0 \text{ mm}$$

$$S_{\min}^* = 1.413,588 + 21,0 = \underline{\mathbf{1.434,588 \text{ mm}}}$$

$$S_N^* = 1.434,588 + |-1,0| = 1.435,588 \rightarrow \underline{\mathbf{1.436 \text{ mm}}}$$

3.1.4 Herzstück-Rillenweiten

Erforderliche Mindest-Rillenweite am Herzstück:

$$W_{H,\min}^* = S_{\max}^* - L_{R,\max}^* \quad \text{nach (97)}$$

$$S_{\max}^* = S^* + |+\Delta S| \quad \text{nach (98)}$$

Anmerkung: Für $L_{R,\max}^*$ muss der Kleinstwert aus allen untersuchten Fahrwerken gewählt werden, bei dem Beispiel tritt er beim Musterfahrwerk 2 auf (vgl. Auswertung in Tabelle 3.7).

Nennwert der Rillenweite des Herzstücks:

$$W_H^* = W_{H,\min}^* + |-\Delta W| \quad \text{nach (99)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16 \text{ m}$:

$$S_{\max}^* = 1.438 + |+1,0| = \underline{\mathbf{1.439 \text{ mm}}}$$

$$L_{R,\max}^* = 1.400,368 \text{ mm}$$

$$W_{H,\min}^* = 1.439 - 1.400,368 = 38,632 \text{ mm}$$

$$W_H^* = 38,632 + |-0| = 38,632 \rightarrow \underline{\mathbf{39 \text{ mm}}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$S_{\max}^* = 1.436 + |+1,0| = \underline{1.437 \text{ mm}}$$

$$L_{R,\max}^* = 1.402,443 \text{ mm}$$

$$W_{H,\min}^* = 1.437 - 1.402,443 = 34,557 \text{ mm}$$

$W_H^* = 34,557 + |-0| = 34,557 \rightarrow$ aus Kontinuitätsgründen der
Tabelle wurde der errechnete Wert abgerundet auf **34 mm**

Freiraum an der Herzstück-Fahrflanke:

$$\Delta W_{H,Ff} = S_{\min}^* - W_{R,\max}^* - L_{H,\min}^* \quad \text{nach (100)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$\Delta W_{H,Ff} = (1.438 - 1) - 27,0 - 1.410,126 = \mathbf{-0,126 \text{ mm}} \quad (\text{hier tritt eine geringfügige Überdeckung auf!})$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta W_{H,Ff} = (1.436 - 1) - 21,0 - 1.413,588 = \mathbf{0,412 \text{ mm}}$$

Freiraum an der Herzstück-Rillenflanke:

$$\Delta W_{H,Rf} = L_{R,\max}^* - S_{\max}^* + W_{H,\min}^* \quad \text{nach (101)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$\Delta W_{H,Rf} = 1.400,368 - (1.438 + 1) + 39 = \mathbf{0,368 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta W_{H,Rf} = 1.402,443 - (1.436 + 1) + 34 = \mathbf{-0,557 \text{ mm}} \quad (\text{hier tritt eine geringfügige Überdeckung auf!})$$

Quermaßuntersuchung für:	VDV		Nennspurweite:	1435 mm	
Zusätzlicher Platzbedarf der Spurkränze im Gleisbogen (bei Spießgang)					
Fahrzeugtyp:	Musterfzg. 1				
Alle Längenmaße in mm, alle Winkel in dezimalgeteiltem Altgrad!					
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	
		Neumaße	Verschl.-grenzmaße		
Nenn-Rückenflächenabstand r / Fertigungstoleranz plus / minus:	1.384,0	2,0	0,0		
Spurmaßvergrößerung / -verkleinerung bei 3/3-Volllast:		1,0	0,0		
Nenn-Spurkranzbreite b / Fertigungstoleranz plus / minus:	22,00	0,0	-0,5	16,0	
Nenn-Spurkranzdicke d / Fertigungstoleranz plus / minus:	19,7	0,0	-1,0	12,5	
Rückenflanken-Stichmaß f / 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	
Neigg. 1: n_S / 1: n_R der Spurkr.-stirn- / rückenflanke:		4,000	6,000	6,000	6,000
Achsabstand a_F der starren Radachsen:	1.900,0				
Messkreisdurchmesser d_M :		700,0		620,0	
Querverschiebbarkeit Q der gummielagerten Radreifen:	2,0	-2,0			
Eingabewerte Gleis					
Abstand A der Spurweiten-Messebene von GFT:			14,0		
Positive / negative Bautoleranz der Spurweite in Weichen:	1,0	-1,0			
Walztoleranz 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.	16,0	26,000	5.	28,0	22,000
2.	17,5	25,000	6.	37,0	21,000
3.	20,0	24,000	7.	50,0	21,000
4.	23,0	23,000	8.	75,0	20,000
			9.	100,0	20,000
			10.	200,0	20,000
			11.		
			12.		
Rechenwerte am Spurkranz (* - Maße in der GGE, wenn Lage nicht eindeutig):					
Nenn-Spurmaß s / s* :		1428,000	1428,000	1416,000	1416,000
Größtes Spurmaß s_{max}* (beachte Beladungszustand!):			1431,000		1419,000
Größtes / kleinstes Leitmaß l_{max}* / l_{min}* (beachte Beladungszustand!):		1411,800	1407,800		1403,500
Größte / Kleinste Spurkranzdicke d_{max}* / d_{min}* :		19,700	18,700		12,500
Größte (neu) / Kleinste (verschlissen) Spurkranzhöhe h_{max} / h_{min} :			22,0		18,000
Breite d. Spurkr.-kuppe d_{k,max} / d_{k,min} (unausgerundet, bezogen auf h _{max/min}):		16,367	15,367		11,167
Winkel α_S / α_R der Spurkr.-stirn- / -rückenflanke zur Horizontalen:		75,9638	80,5377	80,5377	80,5377
Abnahme der Spurkranzdicke unterhalb der GGE (stirnseitig / rückenseitig):					
- d_S* / d_R*		2,000	1,333	0,667	0,667
Länge l_A der Spurkranz-Abschnittsfläche:			153,467		102,137
Lage des Eckpunktes Hyperbel/Kuppe E_S und E_R (stirnseitig / rückenseitig):					
- h_{E,S}* / h_{E,R}* :		8,000	8,000	4,000	4,000
- d_{E,S}* / d_{E,R}* :		2,000	1,333	0,667	0,667
- x_{E,S} / x_{E,R} :		76,733	76,733	51,069	51,069
- Anlaufwinkel in E_{S/R} α_{E,S} / α_{E,R} :		2,9861	1,9910	1,4958	1,4958
Radius a. d. Spurkr.-Schnittfläche (stirnstg. / rückenstg.), (Hyp.-bereich) r_{A,S} / r_{A,R} :		1.473,000	2.208,667	1.956,333	1.956,333
Verbindung g₁ der Mittelpunkte von r_{A,R} (Rad 1) und r_{A,S} (Rad 2):		4.126,418		4.338,352	
Winkel φ zwischen g₁ und y-Achse:		27,4160		25,9734	
Verbindung g₂ des Mittelpunktes von r_{A,S} (Rad 2) und E_R (Rad 1):		2.454,861		2.754,587	
Verbindung g₃ der Eckpunkte E_{R,1} und E_{S,2} :		1.900,062		1.900,033	
Winkel ρ zwischen g₃ und x-Achse:		0,4634		0,3367	

Tabelle 3.6a: Spießgangberechnung - Eingabewerte und allgemeine Rechenwerte bei Fahrwerks-Neu- sowie bei Fahrwerks-Verschleißgrenzmaßen (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Tabelle: R₃ - 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_m in m	16,0	17,5	20,0	23,0	28,0	37,0	50,0	75,0	100,0	200,0
Erf. Radl.-Rillenw.+ Herst.-Tol. in mm	27,000	26,000	25,000	24,000	23,000	22,000	22,000	21,000	21,000	21,000
Tabelle: R₃ - 2										
Berechnung der Berührungspunkte Rad / Schiene für die Räder 1 bis 3 , sofern sie im Bereich der Hyperbeln liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang										
Grenzanlaufwinkel $\alpha_{E,S}$ (Hyp./Kuppe) an Spurkranzstirn / Fahrflanke: 2,9861 °										
Grenzanlaufwinkel $\alpha_{E,R}$ (Hyp./Kuppe) an Spurkranzrücken / Leitflanke: 1,9910 °										
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:						1,6605	1,2373	0,8167	0,6260	0,3448
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:						1,3842	0,9968	0,6598	0,4772	0,2037
y-Koordinate von (R ₃ -r _{A,S}):						36.228,983	49.232,318	74.234,976	99.236,505	199.238,73
x-Koordinate von (R ₁ -r _{A,R}):						987,977	1.016,986	1.027,586	1.060,797	1.186,140
Gleisbogenhalbmesser R₃ :						37.715,452	50.715,821	75.715,088	100.715,17	200.715,26
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:						1,5621	1,1834	0,7931	0,6124	0,3411
Tabelle: R₃ - 3										
Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 1 im Eckpunkt und der Berührungspunkte an den Rädern 2 und 3 , Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche wenn sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang										
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5					
($\alpha_1 + \alpha_2$):	7,1013	6,4898	5,6761	4,9337	4,0512					
δ_1 :	122,4578	122,8056	123,2570	123,6696	124,1524					
δ_1' :	36,3673	36,3673	36,3673	36,3673	36,3673					
vorläufiger Anf.-winkel α_1 an Rad 1:	3,9095	3,5617	3,1103	2,6977	2,2149					
vorläufiger Anf.-winkel α_2 an Rad 2:		2,9281	2,5658	2,2360	1,8363					
y-Koordinate von (R ₂ +r _{A,S}):		18.231,667	20.734,692	23.737,412	28.740,733					
x-Koordinate von (R ₃ -r _{A,S}):		967,475	970,854	973,157	978,567					
vorläufiger Anf.-winkel α_3 an Rad 3:		3,3124	2,8918	2,5075	2,0585					
Gleisbogenhalbmesser R₃ :			20.716,698	23.716,211	28.715,814					
endgültiger Anf.-winkel α_1 an Rad 1:			3,1103	2,6977	2,2149					
endgültiger Anf.-winkel α_2 an Rad 2:			2,5658	2,2360	1,8363					
endgültiger Anf.-winkel α_3 an Rad 3:			2,8918	2,5075	2,0585					
Tabelle: R₃ - 4										
Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 3 im Eckpunkt , wenn die Berührungspunkte am Rad 1 im Eckpunkt und am Rad 2 im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang										
Alle Werte in mm, Winkel in °	2									
endgültiger Anf.-winkel α_1 an Rad 1:	3,5617									
endgültiger Anf.-winkel α_2 an Rad 2:	2,9281									
x-Koordinate von R _{1/3} :	1.044,208									
y-Koordinate von R ₃ :	18.187,167									
Gleisbogenhalbmesser R₃ :	18.217,119									
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:	3,2860									
Tabelle: R₃ - 5										
Berechnung der Berührungspunkte Rad / Schiene an den Rädern 1 bis 3 , wenn alle Berührungspunkte im Eckpunkt liegen, Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang										
Alle Werte in mm, Winkel in °	1									
($\alpha_1 + \alpha_2$) (in °):	7,1211									
ρ_2 :	85,6268									
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	3,9098									
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:	3,2113									
x-Koordinate von R ₃ :	1.043,896									
y-Koordinate von R ₃ :	16.685,002									
Gleisbogenhalbmesser R₃ :	16.717,626									
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:	3,5800									
Tabelle: R₃ - 6										
Ermittlung des wirksamen Leitmaßes über Herzstückrille für Einfache Herzstücke (Zusammenfassung aus den vorstehenden Tabellen)										
Alle Werte in mm, Winkel in °	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gleisbogenhalbm. R₂ an Rad 2 (Vorgabe):	15.282,50	16.782,50	19.282,50	22.282,50	27.282,50	36.282,50	49.282,50	74.282,50	99.282,50	199.282,50
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:	3,2113	2,9281	2,5658	2,2360	1,8363	1,3842	0,9968	0,6598	0,4772	0,2037
Gleisbogenhalbm. R₁ an Rad 1:	15.309,50	16.808,50	19.307,50	22.306,50	27.305,50	36.304,50	49.304,50	74.303,50	99.303,50	199.303,50
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:	3,9098	3,5617	3,1103	2,6977	2,2149	1,6605	1,2373	0,8167	0,6260	0,3448
Gleisbogenhalbm. R₃ an Rad 3:	16.717,63	18.217,12	20.716,70	23.716,21	28.715,81	37.715,45	50.715,82	75.715,09	100.715,17	200.715,26
Anfahrwinkel α_3 an Rad 3:	3,5800	3,2860	2,8918	2,5075	2,0585	1,5621	1,1834	0,7931	0,6124	0,3411
wirksames größtes Leitmaß $L_{max} \rightarrow L_{H,min}$:	1.408,126	1.408,619	1.409,198	1.409,711	1.410,314	1.410,952	1.411,321	1.411,588	1.411,675	1.411,762

markierter Bereich entspricht den Rechenbeispielen!

Tabelle 3.6b: Spießgangberechnung - Gleisbogenhalbmesserabhängige Rechenwerte bei Fahrwerks-Neumaßen (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Tabelle: R₄ -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_m in m		16,0	17,5	20,0	23,0	28,0	37,0	50,0	75,0	100,0	200,0
Erf. Radl.-Rillenw.+ Herst.-Tol. in mm		27,000	26,000	25,000	24,000	23,000	22,000	22,000	21,000	21,000	21,000
Tabelle: R₄ -2		Berechnung der Berührungspunkte Rad / Schiene für die Räder 1, 2 und 4 , sofern sie im Bereich der Hyperbeln liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
		Grenzanlaufwinkel $\alpha_{E,S}$ (Hyp./Kuppe) an Spurkranzstirn / Fahrflanke: 1,4958 °									
		Grenzanlaufwinkel $\alpha_{E,R}$ (Hyp./Kuppe) an Spurkranzrücken / Leitflanke: 1,4958 °									
Alle Werte in mm (außer Winkel)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1 (in °):								1,4235	1,0045	0,8139	0,5321
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2 (in °):								0,8094	0,4748	0,2927	0,0191
y-Koordinate von (R ₄ +r _{A,R}):								52.637,221	77.639,716	102.641,01	202.642,32
x-Koordinate von (R ₂ +r _{A,S}):								723,777	631,733	517,231	67,173
Anfahrwinkel α_4 an Rad 4 (in °):								0,7878	0,4662	0,2887	0,0190
Gleisbogenhalbmesser R₄ :								50.685,864	75.685,953	100.685,98	200.686,00
Tabelle: R₄ -3		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 1 im Eckpunkt und der Berührungspunkte an den Rädern 2 und 4 , Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche wenn sie im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5	6				
($\alpha_1 + \alpha_2$):		6,9383	6,3473	5,5594	4,8387	3,9795	3,0161				
δ_1 :		130,8876	131,2289	131,6721	132,0776	132,5526	133,0780				
δ_1' :		44,9034	44,9034	44,9034	44,9034	44,9034	44,9034				
vorläufiger Anf.-winkel α_1 an Rad 1:		4,0158	3,6744	3,2313	2,8258	2,3508	1,8254				
vorläufiger Anf.-winkel α_2 an Rad 2:							1,1907				
y-Koordinate von (R ₂ +r _{A,S}):							38.230,576				
x-Koordinate von (R ₂ +r _{A,R}):							794,614				
vorläufiger Anf.-winkel α_4 an Rad 4:							1,1486				
Gleisbogenhalbmesser R₄ :							37.685,708				
endgültiger Anf.-winkel α_1 an Rad 1:							1,8254				
endgültiger Anf.-winkel α_2 an Rad 2:							1,1907				
endgültiger Anf.-winkel α_4 an Rad 4:							1,1486				
Tabelle: R₄ -4		Berechnung des Berührungspunktes Rad / Schiene am Rad 4 im Eckpunkt , wenn die Berührungspunkte am Rad 1 im Eckpunkt und am Rad 2 im Bereich der Hyperbel liegen, bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Alle Werte in mm, Winkel in °											
endgültiger Anf.-winkel α_1 an Rad 1:											
endgültiger Anf.-winkel α_2 an Rad 2:											
x-Koordinate von R _{2/4} :											
y-Koordinate von R ₄ :											
Gleisbogenhalbmesser R₄ :											
Anfahrwinkel α_4 an Rad 4:											
Tabelle: R₄ -5		Berechnung der Berührungspunkte Rad / Schiene an den Rädern 1, 2 und 4 , wenn alle Berührungspunkte im Eckpunkt liegen, Ermittlung mittels Excel-Zielwertsuche bei Berücksichtigung von Spurspiel / Spießgang									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5					
($\alpha_1 + \alpha_2$):		7,1210	6,4846	5,6439	4,8841	3,9891					
ρ_2 :		85,6268	85,9749	86,4251	86,8349	87,3123					
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:		4,0364	3,6884	3,2382	2,8284	2,3510					
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:		3,0846	2,7962	2,4057	2,0557	1,6381					
x-Koordinate von R ₄ :		822,357	818,716	809,378	799,292	779,911					
y-Koordinate von R ₄ :		16.663,858	18.166,018	20.669,006	23.671,660	28.674,850					
Gleisbogenhalbmesser R₄ :		16.684,138	18.184,458	20.684,847	23.685,150	28.685,454					
Anfahrwinkel α_4 an Rad 4:		2,8252	2,5805	2,2425	1,9339	1,5580					
Tabelle: R₄ -6		Ermittlung des wirksamen Leitmaßes über Herzstückrille für Einfache Herzstücke (Zusammenfassung aus den vorstehenden Tabellen)									
Alle Werte in mm, Winkel in °		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gleisbogenhalbm. R₂ an Rad 2 (Vorgabe):		15.282,50	16.782,50	19.282,50	22.282,50	27.282,50	36.282,50	49.282,50	74.282,50	99.282,50	199.282,50
Anfahrwinkel α_2 an Rad 2:		3,0846	2,7962	2,4057	2,0557	1,6381	1,1907	0,8094	0,4748	0,2927	0,0191
Gleisbogenhalbm. R₁ an Rad 1:		15.309,50	16.808,50	19.307,50	22.306,50	27.305,50	36.304,50	49.304,50	74.303,50	99.303,50	199.303,50
Anfahrwinkel α_1 an Rad 1:		4,0364	3,6884	3,2382	2,8284	2,3510	1,8254	1,4235	1,0045	0,8139	0,5321
Gleisbogenhalbm. R₄ an Rad 4:		16.684,14	18.184,46	20.684,85	23.685,15	28.685,45	37.685,71	50.685,86	75.685,95	100.685,98	200.686,00
Anfahrwinkel α_4 an Rad 4:		2,8252	2,5805	2,2425	1,9339	1,5580	1,1486	0,7878	0,4662	0,2887	0,0190
wirksames kleinstes Leitmaß $l_{min} \rightarrow L_{R,max}$:		1.401,638	1.401,958	1.402,347	1.402,650	1.402,954	1.403,208	1.403,364	1.403,453	1.403,482	1.403,500

markierter Bereich entspricht den Rechenbeispielen!

Tabelle 3.6c: Spießgangberechnung - Gleisbogenhalbmesserabhängige Rechenwerte bei Fahrwerks-Verschleißgrenzmaßen (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

Spurweite und Rillenweite für Einfache Herzstücke/Radlenker															
Gleisbogenhalbmesser in m	Leitweite über Herzstückrille ($L_{H,min}^*$) (= größtes wirksames Leitmaß)							Leitweite über Radlenkerrille ($L_{R,max}^*$) (= kleinstes wirksames Leitmaß)							
	Musterfahrzeug 1 (Neuzustand)		Musterfahrzeug 2 (Neuzustand)		Quer- elast.	Größtwert bei Berücksichtig. v. Tief- bzw. Flachrille		Musterfahrzeug 1 (Verschleißgrenzzustand)		Musterfahrzeug 2 (Verschleißgrenzzustand)		Quer- elast.	Kleinstwert bei Berücksichtig. v. Tief- bzw. Flachrille		
	EW, ABW, IBW (Stammgleis)	IBW (Stammgleis)	EW, ABW, IBW (Zweiggleis)	IBW (Stammgleis)		EW, ABW, IBW (Stammgleis)	IBW (Stammgleis)	EW, ABW, IBW (Stammgleis)	IBW (Stammgleis)	EW, ABW, IBW (Zweiggleis)	IBW (Stammgleis)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Tief- / Flachrille															
1	> 16,0	1.408,13	1.407,86		+2	+1	1.410,13	1.409,13	1.401,64	1.401,37		-1	-2	1.400,37	1.399,37
2	> 17,5	1.408,62	1.408,40		+2	+1	1.410,62	1.409,62	1.401,96	1.401,74		-1	-2	1.400,74	1.399,74
3	> 20,0	1.409,20	1.409,03		+2	+1	1.411,20	1.410,20	1.402,35	1.402,18		-1	-2	1.401,18	1.400,18
4	> 23,0	1.409,71	1.409,60		+2	+1	1.411,71	1.410,71	1.402,65	1.402,52		-1	-2	1.401,52	1.400,52
5	> 28,0	1.410,31	1.410,25		+2	+1	1.412,31	1.411,31	1.402,95	1.402,87		-1	-2	1.401,87	1.400,87
6	> 37,0	1.410,95	1.410,92		+2	+1	1.412,95	1.411,95	1.403,21	1.403,16		-1	-2	1.402,16	1.401,16
7	> 50,0	1.411,32	1.411,30		+2	+1	1.413,32	1.412,32	1.403,36	1.403,34		-1	-2	1.402,34	1.401,34
8	> 75,0	1.411,59	1.411,58		+2	+1	1.413,59	1.412,59	1.403,45	1.403,44		-1	-2	1.402,44	1.401,44
9	> 100,0	1.411,67	1.411,67		+1	0	1.412,67	1.411,67	1.403,48	1.403,48		0	-1	1.403,48	1.402,48
10	> 200,0	1.411,76	1.411,76		+1	0	1.412,76	1.411,76	1.403,50	1.403,50		0	-1	1.403,50	1.402,50
11	∞^*)	1.411,80	1.411,80		0	0	1.411,80	1.411,80	1.403,50	1.403,50		0	0	1.403,50	1.403,50
Tief- / Flachrille															
21	> 16,0	/ wie bei Tief- / Flachrille /			1.408,63	1.407,63	/ wie bei Tief- / Flachrille /					1.401,37	1.400,37		
22	> 17,5				1.409,12	1.408,12						1.401,74	1.400,74		
23	> 20,0				1.409,70	1.408,70						1.402,18	1.401,18		
24	> 23,0				1.410,21	1.409,21						1.402,52	1.401,52		
25	> 28,0				1.410,81	1.409,81						1.402,87	1.401,87		
26	> 37,0				1.411,45	1.410,45						1.403,16	1.402,16		
27	> 50,0				1.411,82	1.410,82						1.403,34	1.402,34		
28	> 75,0				1.412,09	1.411,09						1.403,44	1.402,44		
29	> 100,0				1.411,17	1.410,17						1.404,48	1.403,48		
30	> 200,0				1.411,26	1.410,26						1.404,50	1.403,50		
31	∞^*)	1.410,30	1.410,30	1.404,50	1.404,50										
Flach- / Flachrille															
41	> 16,0	/ wie bei Tief- / Flachrille /			1.409,63	1.408,63	/ wie bei Tief- / Flachrille /					1.399,87	1.398,87		
42	> 17,5				1.410,12	1.409,12						1.400,24	1.399,24		
43	> 20,0				1.410,70	1.409,70						1.400,68	1.399,68		
44	> 23,0				1.411,21	1.410,21						1.401,02	1.400,02		
45	> 28,0				1.411,81	1.410,81						1.401,37	1.400,37		
46	> 37,0				1.412,45	1.411,45						1.401,66	1.400,66		
47	> 50,0				1.412,82	1.411,82						1.401,84	1.400,84		
48	> 75,0				1.413,09	1.412,09						1.401,94	1.400,94		
49	> 100,0				1.412,17	1.411,17						1.402,98	1.401,98		
50	> 200,0				1.412,26	1.411,26						1.403,00	1.402,00		
51	∞^*)	1.411,30	1.411,30	1.403,00	1.403,00										

*) Die Werte für das gerade Gleis sind teilweise dem Quermaßnachweis entnommen!

Tabelle 3.7a: Zusammenstellung und Auswertung aller Berechnungen für die Bemessung von Einfachen Herzstücken/Radlenkern (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

- Fortsetzung nächste Seite -

(Fortsetzung)

Gleisbogenhalbmesser in m	Rad- lenker-Rillen- weite		Einfache Weichen, Außenbg.-weichen, Innenbg.-weichen (Zweiggleis)														
			Spurweite				Herzstück- Rillenweite				Quermaßnachweis		kleinster Leitkreisabstand (**)				
	Neuwert		erforderl. Minimalwert	Korrekturwert	Neuwert			erforderl. Minimalwert	Korrekturwert	Neuw.	Größtmaß (+1)	Überschneidg. an d.					
	erforderl. Minimalwert	Nenn-/Kleinmaß			Größtmaß (+1)	Kleinmaß (-1)	Nennmaß					Größtmaß (+1)		Fahrfl.	Rillenfl.		
1	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

Tiefrille/Tiefrille

1	> 16,0	25,866	26	27	1.437,13	-0,2	1.437	1.438	1.439	38,63		39	40	j	0,13	n	0,37	1.379,79
2	> 17,5	25,042	25	26	1.436,62		1.437	1.438	1.439	38,26	-0,3	38	39	n	0,38	j	0,26	1.381,11
3	> 20,0	23,978	24	25	1.436,20	-0,2	1.436	1.437	1.438	36,82		37	38	j	0,20	n	0,18	1.382,78
4	> 23,0	23,058	23	24	1.435,71		1.436	1.437	1.438	36,48		37	38	n	0,29	n	0,52	1.384,24
5	> 28,0	22,042	22	23	1.435,31		1.436	1.437	1.438	36,13	-0,2	36	37	n	0,69	j	0,13	1.385,89
6	> 37,0	20,979	21	22	1.434,95	+0,1	1.436	1.437	1.438	35,84		36	37	n	1,05	n	0,16	1.387,52
7	> 50,0	20,389	21	22	1.435,32	-0,4	1.435	1.436	1.437	34,66		35	36	j	0,32	n	0,34	1.388,49
8	> 75,0	20,001	20	21	1.434,59		1.435	1.436	1.437	34,56	-0,6	34	35	n	0,41	j	0,56	1.389,12
9	> 100,0	19,868	20	21	1.433,67		1.434	1.435	1.436	32,52		33	34	n	0,33	n	0,48	1.388,33
10	> 200,0	19,742	20	21	1.433,76		1.434	1.435	1.436	32,50		33	34	n	0,24	n	0,50	1.388,53
11	∞ *)	19,700	20	21	1.432,80		1.433	1.434	1.435	31,50		32	33	n	0,20	n	0,50	1.388,60

- Fortsetzung vorige Seite -

- Fortsetzung nächste Seite -

Tiefrille/Flachrille

21	> 16,0	25,866	26	27	1.435,63		1.436	1.437	1.438	36,63		37	38	n	0,37	n	0,37	1.380,79
22	> 17,5	25,042	25	26	1.435,12	-0,2	1.435	1.436	1.437	35,26		36	37	j	0,12	n	0,74	1.382,11
23	> 20,0	23,978	24	25	1.434,70		1.435	1.436	1.437	34,82		35	36	n	0,30	n	0,18	1.383,78
24	> 23,0	23,058	23	24	1.434,21		1.435	1.436	1.437	34,48		35	36	n	0,79	n	0,52	1.385,24
25	> 28,0	22,042	22	23	1.433,81		1.434	1.435	1.436	33,13		34	35	n	0,19	n	0,87	1.386,89
26	> 37,0	20,979	21	22	1.433,45		1.434	1.435	1.436	32,84		33	34	n	0,55	n	0,16	1.388,52
27	> 50,0	20,389	21	22	1.433,82		1.434	1.435	1.436	32,66		33	34	n	0,18	n	0,34	1.389,49
28	> 75,0	20,001	20	21	1.433,09	-0,1	1.433	1.434	1.435	31,56		32	33	j	0,09	n	0,44	1.390,12
29	> 100,0	19,868	20	21	1.432,17		1.433	1.434	1.435	30,52		31	32	n	0,83	n	0,48	1.389,33
30	> 200,0	19,742	20	21	1.432,26		1.433	1.434	1.435	30,50		31	32	n	0,74	n	0,50	1.389,53
31	∞ *)	19,700	20	21	1.431,30		1.432	1.433	1.434	29,50		30	31	n	0,70	n	0,50	1.389,60

Flachrille/Flachrille

41	> 16,0	23,366	24	25	1.434,63		1.435	1.436	1.437	37,13	-0,2	37	38	n	0,37	j	0,13	1.381,79
42	> 17,5	22,542	23	24	1.434,12	-0,2	1.434	1.435	1.436	35,76		36	37	j	0,12	n	0,24	1.383,11
43	> 20,0	21,478	22	23	1.433,70		1.434	1.435	1.436	35,32	-0,4	35	36	n	0,30	j	0,32	1.384,78
44	> 23,0	20,558	21	22	1.433,21		1.434	1.435	1.436	34,98		35	36	n	0,79	n	0,02	1.386,24
45	> 28,0	19,542	20	21	1.432,81		1.433	1.434	1.435	33,63		34	35	n	0,19	n	0,37	1.387,89
46	> 37,0	18,479	19	20	1.432,45		1.433	1.434	1.435	33,34	-0,4	33	34	n	0,55	j	0,34	1.389,52
47	> 50,0	17,889	18	19	1.431,82		1.432	1.433	1.434	32,16		33	34	n	0,18	n	0,84	1.390,49
48	> 75,0	17,501	18	19	1.432,09	-0,1	1.432	1.433	1.434	32,06	-0,1	32	33	j	0,09	j	0,06	1.391,12
49	> 100,0	17,368	18	19	1.431,17		1.432	1.433	1.434	31,02		32	33	n	0,83	n	0,98	1.390,33
50	> 200,0	17,242	18	19	1.431,26		1.432	1.433	1.434	31,00	-0,1	31	32	n	0,74	j	0,00	1.390,53
51	∞ *)	17,200	18	19	1.430,30		1.431	1.432	1.433	30,00		30	31	n	0,70	n	0,00	1.390,60

*) Die Werte für das gerade Gleis sind teilweise dem Quermaßnachweis entnommen!

**) k_{min} -Wert aus Quermaß-Nachweis für $R = \infty$ (Abschnitt 2.1) minus $2 \times \Delta_{dR}$ aus Tabelle 3.5d minus Querelast. aus Spalte 12

Tabelle 3.7b: Zusammenstellung und Auswertung aller Berechnungen für die Bemessung von Einfachen Herzstücken/Radlenkern (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

(Fortsetzung)

Gleisbogenhalbmesser in m	Innenbogenweichen (Stammgleis)														
	Spurweite					Herzstück- Rillenweite				Quermaßnachweis		kleinster Leitkreisabstand ***)			
	erforderl. Minimalwert	Korrekturwert	Neuwert			erforderl. Minimalwert	Korrekturwert	Neuw.		Überschneidg. an d.					
			Kleinmaß (-1)	Nennmaß	Größtmaß (+1)			Nenn-/Kleinmaß	Größtmaß (+1)	Fahrfl.	Rillenfl.				
										ja / nein	ja / nein				
										Maß des Freiraums / der Überschneidung		Maß des Freiraums / der Überschneidung			
1	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	

Tiefrille/Tiefrille

1	> 16,0	1.436,13	-0,2	1.436	1.437	1.438	38,63		39	40	j	0,13	n	0,37	1.378,79
2	> 17,5	1.435,62		1.436	1.437	1.438	38,26	-0,3	38	39	n	0,38	j	0,26	1.380,11
3	> 20,0	1.435,20	-0,2	1.435	1.436	1.437	36,82		37	38	j	0,20	n	0,18	1.381,78
4	> 23,0	1.434,71		1.435	1.436	1.437	36,48		37	38	n	0,29	n	0,52	1.383,24
5	> 28,0	1.434,31		1.435	1.436	1.437	36,13	-0,2	36	37	n	0,69	j	0,13	1.384,89
6	> 37,0	1.433,95	+0,1	1.435	1.436	1.437	35,84		36	37	n	1,05	n	0,16	1.386,52
7	> 50,0	1.434,32	-0,4	1.434	1.435	1.436	34,66		35	36	j	0,32	n	0,34	1.387,49
8	> 75,0	1.433,59		1.434	1.435	1.436	34,56	-0,6	34	35	n	0,41	j	0,56	1.388,12
9	> 100,0	1.432,67		1.433	1.434	1.435	32,52		33	34	n	0,33	n	0,48	1.387,33
10	> 200,0	1.432,76		1.433	1.434	1.435	32,50		33	34	n	0,24	n	0,50	1.387,53
11	∞ *)	1.432,80		1.433	1.434	1.435	31,50		32	33	n	0,20	n	0,50	1.388,60

Tiefrille/Flachrille

21	> 16,0														
22	> 17,5														
23	> 20,0														
24	> 23,0														
25	> 28,0														
26	> 37,0														
27	> 50,0														
28	> 75,0														
29	> 100,0														
30	> 200,0														
31	∞ *)														

Anwendung wird nicht empfohlen

Flachrille/Flachrille

41	> 16,0	1.433,63		1.434	1.435	1.436	37,13	-0,2	37	38	n	0,37	j	0,13	1.380,79
42	> 17,5	1.433,12	-0,2	1.433	1.434	1.435	35,76		36	37	j	0,12	n	0,24	1.382,11
43	> 20,0	1.432,70		1.433	1.434	1.435	35,32	-0,4	35	36	n	0,30	j	0,32	1.383,78
44	> 23,0	1.432,21		1.433	1.434	1.435	34,98		35	36	n	0,79	n	0,02	1.385,24
45	> 28,0	1.431,81		1.432	1.433	1.434	33,63		34	35	n	0,19	n	0,37	1.386,89
46	> 37,0	1.431,45		1.432	1.433	1.434	33,34	-0,4	33	34	n	0,55	j	0,34	1.388,52
47	> 50,0	1.430,82		1.431	1.432	1.433	32,16		33	34	n	0,18	n	0,84	1.389,49
48	> 75,0	1.431,09	-0,1	1.431	1.432	1.433	32,06	-0,1	32	33	j	0,09	j	0,06	1.390,12
49	> 100,0	1.430,17		1.431	1.432	1.433	31,02		32	33	n	0,83	n	0,98	1.389,33
50	> 200,0	1.430,26		1.431	1.432	1.433	31,00	-0,1	31	32	n	0,74	j	0,00	1.389,53
51	∞ *)	1.430,30		1.431	1.432	1.433	30,00		30	31	n	0,70	n	0,00	1.390,60

*) Die Werte für das gerade Gleis sind teilweise dem Quermaßnachweis entnommen!

***) k_{min} -Wert aus Quermaß-Nachweis für $R = \infty$ (Abschnitt 2.1) minus $2 \times \Delta_{GR}$ aus Tabelle 3.1d minus Querelast. aus Sp. 13

Tabelle 3.7c: Zusammenstellung und Auswertung aller Berechnungen für die Bemessung von Einfachen Herzstücken/Radlenkern (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

3.2 Doppelte Herzstücke

Kleinste zulässige Spurweite $S_{\min,B}^*$ im Gleisbogen:

$$S_{\min,B}^* = S_{\min,G}^* + 2 \Delta d_S^* \quad \text{nach (102)}$$

$$S_{\min,G}^* = 1.431,0 \text{ mm} \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.3.2}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16 \text{ m}$:

$$\Delta d_S^* = R_m - R_2 - 0,5 s^* \quad \text{nach (35)}$$

$$R_2 = 15.284,739 \text{ mm} \quad (\text{Berechnung nach 3.1.1.3} \rightarrow \text{Tabelle 3.5d})$$

$$\Delta d_S^* = 16.000 - 15.284,739 - 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{1,261 \text{ mm}}$$

$$S_{\min,B}^* = 1.431,0 + 2 \cdot 1,261 = 1.433,522 \text{ mm} \rightarrow \underline{1.434 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75 \text{ m}$:

$$\Delta d_S^* = R_m - R_2 - 0,5 s^* \quad \text{nach (35)}$$

$$R_2 = 74.285,940 \text{ mm} \quad (\text{Berechnung nach 3.1.1.2} \rightarrow \text{Tabelle 3.5d})$$

$$\Delta d_S^* = 75.000 - 74.285,940 - 0,5 \cdot 1.428,0 = \underline{0,060 \text{ mm}}$$

$$S_{\min,B}^* = 1.431,0 + 2 \cdot 0,060 = 1.431,120 \text{ mm} \rightarrow \underline{1.432 \text{ mm}}$$

Nennspurweite unter Berücksichtigung der Bautoleranz:

$$S_N^* = S_{\min}^* + |-\Delta S| \quad \text{nach (96)}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16 \text{ m}$:

$$S_{N,DH}^* = 1.434 + |-1,0| = \underline{1.435 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75 \text{ m}$:

$$S_{N,DH}^* = 1.432 + |-1,0| = \underline{1.433 \text{ mm}}$$

Größter zulässiger Leitkantenabstand $K_{\max,B}^*$ im Gleisbogen:

$$K_{\max,B}^* = K_{\max,G}^* - 2 \Delta d_R^* \quad \text{nach (103)}$$

$$K_{\max,G}^* = 1.387,0 \text{ mm} \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.3.2}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16 \text{ m}$:

$$\Delta d_R^* = (0,5 s^* - d^*) - (R_m - R_1) \quad \text{nach (34)}$$

$$R_1 = 15.310,614 \text{ mm} \quad (\text{Berechnung nach 3.1.1.3, hier tritt mit den Maßen des Musterfahrwerks 2 der etwas ungünstigere Wert auf!})$$

$$\Delta d_R^* = (0,5 \cdot 1.428,0 - 19,7) - (16.000 - 15.310,614) = \underline{4,914 \text{ mm}}$$

$$K_{\max,B}^* = 1.387,0 - 2 \cdot 4,914 = 1.377,172 \text{ mm} \rightarrow \underline{1.377 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75 \text{ m}$:

$$\Delta d_R^* = (0,5 s^* - d^*) - (R_m - R_1) \quad \text{nach (34)}$$

$$R_1 = 74.305,942 \text{ mm} \quad (\text{Berechnung nach 3.1.1.2} \rightarrow \text{Tabelle 3.5d})$$

$$\Delta d_R^* = (0,5 \cdot 1.428,0 - 19,7) - (75.000 - 74.305,942) = \underline{0,242 \text{ mm}}$$

$$K_{\max,B}^* = 1.387,0 - 2 \cdot 0,242 = 1.386,516 \text{ mm} \rightarrow \underline{1.386 \text{ mm}}$$

Kleinste zulässige Rillenweite $W_{DH,\min,B}^*$ im Gleisbogen:

$$W_{DH,\min,B}^* = W_{DH,\min,G}^* + \Delta d^* \quad \text{nach (104)}$$

$$W_{DH,\min,G}^* = 22,2 \text{ mm} \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.3.2}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16 \text{ m}$:

$$\Delta d^* = \Delta d_S^* + \Delta d_R^* = 1,261 + 4,914 = \underline{4,287 \text{ mm}} \quad \text{nach (36)}$$

$$W_{DH,\min,B}^* = 22,2 + 5,548 = 27,748 \text{ mm} \rightarrow \underline{28 \text{ mm}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75 \text{ m}$:

$$\Delta d^* = \Delta d_S^* + \Delta d_R^* = 0,060 + 0,242 = \underline{0,302 \text{ mm}}$$

$$W_{DH,\min,B}^* = 22,2 + 0,302 = 22,502 \text{ mm} \rightarrow \underline{23 \text{ mm}}$$

Nenn-Rillenweite unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranz:

$$W_{DH,N,B}^* = W_{DH,min,B}^* + |-\Delta W|$$

$$-\Delta W = 0$$

$$W_{DH,N,B}^* = W_{DH,min,B}^*$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$W_{DH,N,B}^* = \underline{\mathbf{28\text{ mm}}}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$W_{DH,N,B}^* = \underline{\mathbf{23\text{ mm}}}$$

Freiraum an der Fahrflanke:

$$\Delta W_{Ff} = S_{min,B}^* - (s_{max,G}^* + 2 \Delta d_S^*) \quad \text{nach (105)}$$

$$s_{max,G}^* = s_{max,G} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$s_{max,G} = 1.431,0 \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.1}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$\Delta W_{Ff} = 1.434 - (1.431,0 + 2 \cdot 1,261) = 0,478 \text{ mm}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta W_{Ff} = 1.432 - (1.431,0 + 2 \cdot 0,060) = 0,880 \text{ mm}$$

Freiraum an der Rillenflanke:

$$\Delta W_{Rf} = k_{min,G}^* - 2 \Delta d_R^* - (S_{max,B}^* - 2 W_{min,B}^*) \quad \text{nach (106)}$$

$$k_{min,G}^* = k_{min,G} \quad (\text{weil in diesem Beispiel } a^* = a)$$

$$k_{min,G}^* = 1.388,6 \text{ mm} \quad \text{aus Quermaß-Nachweis, Punkt 2.1}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 16$ m:

$$\Delta W_{Rf} = 1.388,6 - 2 \cdot 4,914 - (1.432 + |+1,0| - 2 \cdot 28) = 1,772 \text{ mm}$$

Gleisbogenhalbmesser $R_m = 75$ m:

$$\Delta W_{Rf} = 1.388,6 - 2 \cdot 0,242 - (1.433 + |1,0| - 2 \cdot 23) = 0,116 \text{ mm}$$

Generell gilt für 3.1.3, 3.1.4 und 3.2:

Wenn GGE und Spurweiten-Messebene nicht übereinstimmen ($a \neq a^*$), muss noch eine Umrechnung aller Maße entsprechend der Neigung an der Schienenflanke von dem in GGE ermittelten Wert in die Spurweiten-Messebene vorgenommen werden.

Bei **Flachrillen** ist zu beachten, dass durch das Herausheben des Rades bei der Spurkranzkuppen-/Rillenbodenberührung eine Verringerung der wirksamen Spurkranzdicke auftritt und entsprechend die Spur-, Leit- und Rillenweiten zu korrigieren sind (Bild 3.3).

Am Beispiel von Spur- und Rillenweite bei Doppelten Herzstücken ist die Umrechnung von Tief- auf Flachrillen im Abschnitt 2.2 dargestellt.

Spurweite und Rillenweite für Doppelte Herzstücke																					
Gleisbogenhalbmesser in m		erf. Rillenerweiterung				Tiefrippe / Tiefrippe														Gleisbogenhalbmesser in m	
		fahr- flankenseitig		leit-/rücken- flankenseitig		Spurweite				Rillenweite				max. Leitkantenabstand (kleinster Leitkreisabstand)		Quermaßnachweis					
		Musterfahrzeug 1	Musterfahrzeug 2	Musterfahrzeug 1	Musterfahrzeug 2	erforderlicher Minimalwert (aus max. Spurmaß)	Korrekturwert	Neuwert			erforderlicher Minimalwert	Korrekturwert	Neuw.			Überschneidung an d.					
								Kleinmaß (-1)	Nennmaß	Größtmaß (+1)			Nenn-/ Kleinmaß	Größtmaß (+1)	Fahrflanke	Leitflanke					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	> 16,0	1,26	1,04	4,90	4,91	1433,52		1434	1435	1436	28,38		29	30	1378,77	n	0,48	n	0,77	> 16,0	
2	> 17,5	1,07	0,89	4,25	4,25	1433,15		1434	1435	1436	27,52		28	29	1380,11	n	0,85	n	0,11	> 17,5	
3	> 20,0	0,83	0,68	3,41	3,39	1432,65		1433	1434	1435	26,43		27	28	1381,78	n	0,35	n	0,78	> 20,0	
4	> 23,0	0,63	0,52	2,68	2,66	1432,25		1433	1434	1435	25,51		26	27	1383,24	n	0,75	n	0,24	> 23,0	
5	> 28,0	0,43	0,35	1,85	1,83	1431,85		1432	1433	1434	24,48		25	26	1384,89	n	0,15	n	0,89	> 28,0	
6	> 37,0	0,25	0,20	1,04	1,02	1431,49		1432	1433	1434	23,48		24	25	1386,52	n	0,51	n	0,52	> 37,0	
7	> 50,0	0,13	0,11	0,56	0,55	1431,27		1432	1433	1434	22,89		23	24	1387,49	n	0,73	j	0,51	> 50,0	
8	> 75,0	0,06	0,05	0,24	0,24	1431,12		1432	1433	1434	22,50		23	24	1388,12	n	0,88	n	0,12	> 75,0	
9	> 100,0	0,03	0,03	0,13	0,13	1431,07	-0,1	1431	1432	1433	22,37		23	24	1388,33	j	0,07	n	1,33	> 100,0	
10	> 200,0	0,01	0,01	0,03	0,03	1431,02	-0,1	1431	1432	1433	22,24		23	24	1388,53	j	0,02	n	1,53	> 200,0	
11	∞ *)	0,00	0,00	0,00	0,00	1431,00		1431	1432	1433	22,20		23	24	1388,60	n	0,00	n	1,60	∞ *)	

Flachrippe / Flachrippe																					
Gleisbogenhalbmesser in m		erf. Rillenerweiterung				Flachrippe / Flachrippe														Gleisbogenhalbmesser in m	
		fahr- flankenseitig		leit-/rücken- flankenseitig		Spurweite				Rillenweite				max. Leitkantenabstand (kleinster Leitkreisabstand)		Quermaßnachweis					
		Musterfahrzeug 1	Musterfahrzeug 2	Musterfahrzeug 1	Musterfahrzeug 2	erforderlicher Minimalwert (aus max. Spurmaß)	Korrekturwert	Neuwert			erforderlicher Minimalwert	Korrekturwert	Neuw.			Überschneidung an d.					
								Kleinmaß (-1)	Nennmaß	Größtmaß (+1)			Nenn-/ Kleinmaß	Größtmaß (+1)	Fahrflanke	Leitflanke					
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
21	> 16,0	1,26	1,04	4,90	4,91	1430,52		1431	1432	1433	25,88	+0,2	27	28	1380,11	n	0,48	n	1,11	> 16,0	
22	> 17,5	1,07	0,89	4,25	4,25	1430,15	-0,2	1430	1431	1432	25,02		26	27	1381,44	j	0,15	n	1,44	> 17,5	
23	> 20,0	0,83	0,68	3,41	3,39	1429,65		1430	1431	1432	23,93	+0,1	25	26	1383,12	n	0,35	n	1,12	> 20,0	
24	> 23,0	0,63	0,52	2,68	2,66	1429,25		1430	1431	1432	23,01		24	25	1384,58	n	0,75	n	0,58	> 23,0	
25	> 28,0	0,43	0,35	1,85	1,83	1428,85		1429	1430	1431	21,98	+0,1	23	24	1386,22	n	0,15	n	1,22	> 28,0	
26	> 37,0	0,25	0,20	1,04	1,02	1428,49		1429	1430	1431	20,98	+0,1	22	23	1387,86	n	0,51	n	0,86	> 37,0	
27	> 50,0	0,13	0,11	0,56	0,55	1428,27		1429	1430	1431	20,39		21	22	1388,82	n	0,73	j	0,18	> 50,0	
28	> 75,0	0,06	0,05	0,24	0,24	1428,12		1429	1430	1431	20,00		21	22	1389,45	n	0,88	n	0,45	> 75,0	
29	> 100,0	0,03	0,03	0,13	0,13	1428,07	-0,1	1428	1429	1430	19,87		20	21	1389,66	j	0,07	j	0,34	> 100,0	
30	> 200,0	0,01	0,01	0,03	0,03	1428,02	-0,1	1428	1429	1430	19,74		20	21	1389,87	j	0,02	j	0,13	> 200,0	
31	∞ *)	0,00	0,00	0,00	0,00	1428,00		1428	1429	1430	19,70		20	21	1389,93	n	0,00	j	0,07	∞ *)	

*) Die Werte für das gerade Gleis sind teilweise dem Quermaßnachweis entnommen!

Tabelle 3.8: Zusammenstellung und Auswertung aller Berechnungen für die Bemessung von Doppelten Herzstücken (vereinfachtes Berechnungsverfahren)

3.3 Vergleich detailliertes Berechnungsverfahren - vereinfachtes Berechnungsverfahren

Vergleicht man die Ergebnisse, so kann man bei kleinen Gleisbogenhalbmessern Differenzen in Spur- oder Rillenweite von etwa 1 mm zwischen dem aufwendigeren detaillierten und dem vereinfachten Berechnungsverfahren feststellen. Differenzen, die als solche sicher vernachlässigbar sind.

Sollen jedoch weitere Informationen abgeleitet werden, z.B. die Lage des Übergangspunktes Hyperbel / Ellipse auf der Spurkranz-Abschnittsfläche um einen Anhaltspunkt zu erhalten für die von da ab zu empfehlende zusätzliche Anordnung von Leiteinrichtung bei rillenlosen Schienen, so ergeben sich beim detaillierten Berechnungsverfahren Gleisbogenhalbmesser an der Spurkranzstirn bzw. am Spurkranzrückten von 49 m / 53 m im Übergangspunkt Hyperbel / Ellipse (bei Außensehnenstellung) gegenüber beim vereinfachten Berechnungsverfahren 37 m / 41,5 m für Gleisbogenhalbmesser im Eckpunkt Hyperbel / Spurkranzkuppe.

Wird der Spurkranzquerschnitt des Musterfahrwerks 1 mit Spurkranzkuppenabrundungen von 5,3 mm versehen, werden wachsende Spurkränze mit einer maximalen Höhe von 26 mm vorausgesetzt und sollen Gleisbogenhalbmesser von 12 m befahren werden (alles Werte, die durchaus in der Praxis von Nahverkehrsunternehmen vorkommen!) dann treten beim Gleisbogenhalbmesser von 12 m Differenzen in den Spur- und Rillenweiten von jeweils 3 mm und beim Gleisbogenhalbmesser von 17 m noch jeweils 2 mm auf.

Es lässt sich also keine genaue Grenze angeben, wann das eine oder das andere Verfahren empfohlen werden kann. Entsprechend dem Ziel der Berechnung muss jeder Anwender seine eigene Entscheidung treffen.

Für das im Abschnitt 4 des Anhangs 1 vorgestellte grafische Verfahren ist die Kontur des Spurkranzes kein Kriterium für Umfang und Schwierigkeitsgrad der Wertermittlung.

Quermaßtabelle - Quermaßdarstellung

Die letztendliche **Darstellung der Quermaße** erfolgt auf Bild 3.4, Tabelle 3.9, Diagramm 3.5 und Bild 3.5:

Bild 3.4 enthält alle Werte des Fahrwerks im Neu- und Verschleißgrenzzustand, die für die Quermaßermittlung wesentlich sind (Neumaße mit Herstellungstoleranzen). Bei eventuellen Änderungen dieser Maße müssen die Quermaßbeziehungen überprüft werden!

In **Tabelle 3.9** sind alle Maße zusammengefasst, die für den Neubau sowie für instandhaltende Maßnahmen an Gleisen und Weichen- bzw. Kreuzungsanlagen erforderlich sind einschließlich beispielhafter Hinweise für die Konstruktion von Weichen- und Kreuzungsanlagen (letztere können je nach innerbetrieblichen Gepflogenheiten auch anders lauten).

Diese Tabelle bezieht sich ausschließlich auf Weichen- und Kreuzungsanlagen aus Rillenschienen bzw. Blockherzstücken. Bedingt durch die bei Verwendung von rillenlosen Schienen meist senkrechten Leit- bzw. Rillenflanken von Radlenker- und Flügelschienen sind dort die Rillenweiten entsprechend zu korrigieren.

Das Verschleißgrenzmaß in Spalte 4 stellt kein sicherheitsrelevantes Maß dar, es ist ein in der Praxis üblicher Wert, der sich ergibt aus Formel

$$1450 \text{ mm} + 600/R \quad (\text{bei } R \leq 40\text{m: } \leq 1465 \text{ mm})$$

Der angegebene Rillenkanten-/Leitkantenabstand darf nicht überschritten werden (vor allem beim Aufarbeiten von Anlagen zu beachten!), da sonst die Gefahr von Zwängen auftritt.

Aus dem **Diagramm 3.5** kann für die Anordnung von Tiefrillen-Herzstücken in Abhängigkeit vom Herzstückwinkel die Summe der maximal zulässigen Rillenweiten im Verschleißgrenzzustand abgelesen werden. Im unteren Diagramm ist für eine Anlage mit geradem Stammgleis im Herzstückbereich des Stammgleises eine Bemessung nach dem Prinzip Doppeltes Herzstück vorausgesetzt worden:

1. im wenig befahrenen Zustand (kein Verschleiß)
maximale Rillenweite = Nennweite plus 1 mm Fertigungstoleranz
2. mit Seitenverschleiß von 1 mm an den beiden Rillenflanken
maximale Rillenweite = Nennweite plus 1 mm Fertigungstoleranz plus
2 x 1 mm Verschleiß.

Damit kann im Diagramm unmittelbar die maximal zulässige Rillenweite im Verschleißgrenzzustand für die Herzstückrille des Zweiggleises abgelesen werden.

In **Bild 3.5** sind die Querschnitte von Tief- und Flachrille dargestellt, wie sie in die Berechnung eingegangen und bei Neuherstellung bzw. Reprofilierung einzuhalten sind.

Nachweis der Mindest-Radaufstandsbreite bei Tiefrillen-Herzstücken

Entsprechend den Technischen Regeln, Abschnitt 4.2.4, ist bei der Anordnung von Tiefrillen-Herzstücken die Einhaltung der Mindest-Radaufstandsbreite erforderlich. D.h. es ist die Einhaltung einer Mindestbreite von Herzstückspitze und gleichzeitig die Überdeckung eines Mindestbereichs der Flügelschiene (bzw. dem entsprechenden Blockbereich) erforderlich um die Radlast in Abhängigkeit vom Raddurchmesser und des Herzstück-Werkstoffs schadlos ohne bleibende Verformungen aufnehmen zu können. Die nur indirekt in die Ermittlung eingehende Mindest-Radaufstandsbreite beinhaltet die Breite der elastischen Druckellipse im Radaufstandspunkt, die sich unter der Radlast ausbildet und nach Entlastung wieder zurückbildet. Die für die Grenz- bemessung erforderlichen Werte können gegebenenfalls mit Hilfe des Anhang 4 ermittelt werden.

Die Summe der maximal zulässigen Rillenweiten ergibt sich aus dem bemessungs- technisch relevanten Fall, dass bei Fahrt entgegen der Herzstückspitze eine durch Verschleiß weitestgehend zylindrische Bandage relativ plötzlich die Herzstückspitze entlastet bei gleichzeitig erfolgender Belastung der Flügelschiene. In diesem Grenz- zustand muss also sowohl die Herzstückspitze als auch die Flügelschiene so be- messen sein, dass die volle Radlast schadlos aufgenommen werden kann.

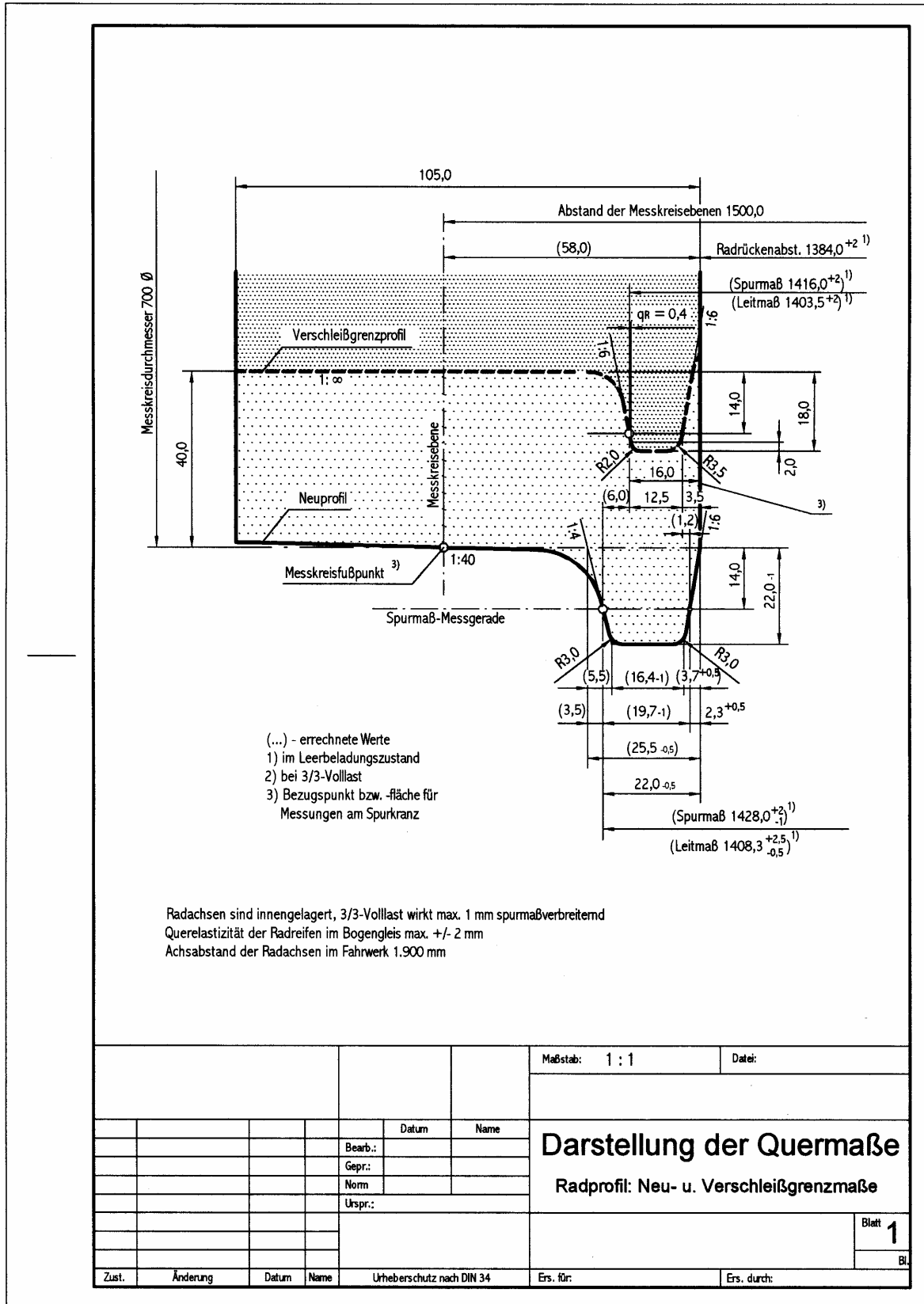


Bild 3.4: Darstellung der Rad-/Radsatzmaße für den Quermaßnachweis

Gleisbogen- halbmesser (bezogen auf Gleisachse) in m von bis	Weichen- / Kreuzungsanlage												Doppeltes Herzstück			Gleisbogen- halbmesser (bezogen auf Gleisachse) in m von bis		
	Einfaches Herzstück / Radlenker für EW, ABW, IBW (Zweiggleis)						Spurweite ²⁾ IBW (Stammgleis)						Spurweite ²⁾					
	Strecken- gleis		Spurweite ¹⁾		Rillengleis		Rillengleis		Rillengleis		Rillengleis		Rillengleis		Rillengleis			
Neumaß	Verhältnis	TR/ TR	K _{max} FIR	TR/ FIR	K _{max} FIR	TR/ FIR	K _{max} FIR	TR/ FIR	K _{max} FIR	TR/ FIR	K _{max} FIR	TR/ FIR	K _{max} FIR	TR/ FIR	K _{max} FIR	TR/ FIR	K _{max} FIR	
1	∞	1434	1388	1433	1389	1432	1390	1434	1388	1432	1389	1433	1388	1432	1388	1429	1390	20
2	< ∞	1450	1388	1433	1389	1432	1390	1434	1388	1432	1389	1433	1388	1432	1388	1429	1390	23
3	< 200	1453	1388	1433	1389	1432	1390	1434	1388	1432	1389	1433	1388	1432	1388	1429	1390	23
4	< 100	1456	1387	1433	1388	1433	1389	1434	1387	1433	1388	1433	1387	1433	1387	1430	1389	24
5	< 75	1458	1386	1433	1387	1433	1388	1435	1385	1433	1387	1433	1386	1433	1386	1430	1388	24
6	< 50	1462	1385	1433	1386	1434	1387	1435	1384	1433	1386	1433	1385	1433	1385	1430	1387	25
7	< 37	1465	1384	1433	1385	1434	1386	1435	1383	1433	1385	1433	1384	1433	1385	1430	1387	25
8	< 27	1465	1382	1433	1383	1434	1384	1435	1381	1433	1384	1433	1383	1434	1383	1431	1385	26
9	< 22	1465	1381	1433	1382	1435	1383	1436	1380	1433	1382	1434	1382	1434	1382	1431	1384	27
10	< 19	1465	1379	1433	1380	1435	1381	1436	1378	1433	1381	1434	1380	1435	1380	1432	1382	28
11	< 16,5	1465	1378	1433	1379	1435	1380	1436	1377	1433	1377	1434	1379	1435	1379	1432	1380	29
11	< 16,5	1465	1378	1433	1378	1435	1379	1436	1377	1433	1377	1434	1379	1435	1379	1432	1380	27

Erläuterungen zur Tabelle

TR - Tiefhille FR - Flachhille K - Rillenkanten-/Leitkantenabstand
 Spur- und Rillenweiten-Messebene 14 mm unter GFT
 Alle Werte (außer Gleisbogenhalbmesser) in mm
 Im Gleisbogen sind alle Herzstückspitzen in Abhängigkeit von der Fahrtrichtung
 zurückzuarbeiten (z.B. 2 mm auf 100 mm Länge), nach Verschleiß ist dieses
 Maß immer wieder herzustellen

- 1) Toleranz der Spurweite im Streckgleis: +/- 2 mm
- 2) Toleranz der Spurweite in Weichen-/Kreuzungsanlage: +/- 1 mm
- 3) Toleranz der Rillenweite: 0/+1 mm
- 4) Nach Formel: 1435 mm + 600/R; bei R < 40 m: 1465 mm
- 5) Dieses Maß ist vor allem beim Reprofilieren zu beachten!
- 6) Neumaß der Flachrillentiefe 16 mm, Toleranz 0/-1 mm
 Flachrillenquerschnitt nach Blatt 4
- 7) Das Verschleißgrenzmaß der Summe beider Herzstück-Rillenweiten
 nach Blatt 3 in Abhängigkeit vom Herzstückwinkel

Maßstab:	Datei:
Darstellung der Quermaße	
Tabelle der Spur- und Rillenweiten	
Blatt 2	
Zust.	Änderung
Name	Datum
Name	Umbeschutz nach DIN 34
Ers. für:	Ers. durch:

Tabelle 3.9: Spur- und Rillenweitentabelle
 (mit den Ergebnissen der detaillierten Berechnung)

Nach Abschnitt 4.2.4 (speziell Bild 16) der "Technischen Regeln" gilt:

$$b_P - f_{\max} - W_{H,S,\max} - 0,5 b_{R,H} - [(0,5 b_{R,H} + W_{H,Z,\max}) / \cos \beta_H] - b_{R,F} \geq 0$$

Entsprechend dem Beispielfahrwerk nach Bild 3.1 betragen

$$\text{Radprofilbreite } b_P = 105 \text{ mm}$$

$$\text{Maximales Rückenflanken-Stichmaß } f_{\max} = 3,5 \text{ mm}$$

Aus Anhang 4, Diagramm 1.2, kann die zulässige Mindest-Radaufstandsbreite mit ca. 8 mm entnommen werden für den kleinsten Raddurchmesser des Musterfahrwerks 1 von 620 mm und für folgende angenommenen Werte:

Schienengüte S800 und Radaufstandskraft 50.000 N

Daraus ergibt sich in der Spurweiten-Messebene $b_{R,H} = 27 \text{ mm}$ und $b_{R,F} = 10 \text{ mm}$

In Abhängigkeit vom Herzstückwinkel β_H erhält man dann die Summe beider Rillenweiten aus:

$$105 - 3,5 - W_{H,S,\max} - 0,5 \cdot 27 - [(0,5 \cdot 27 + W_{H,Z,\max}) / \cos \beta_H] - 10 \geq 0$$

$$78 - W_{H,S,\max} - [(13,5 + W_{H,Z,\max}) / \cos \beta_H] = 0 \quad (\text{Grenzwert})$$

$$W_{H,S,\max} + (W_{H,Z,\max} / \cos \beta_H) = 78 - (13,5 / \cos \beta_H)$$

Bei Voraussetzung eines geraden Stammgleises mit der Bemessung nach „Doppelte Herzstücke“ kann für

$$W_{H,S,\max} = 23 + 1 = 24 \text{ mm (ohne Verschleiß)} \quad \text{bzw.}$$

$$W_{H,S,\max} = 23 + 1 + 2 \cdot 1 = 26 \text{ mm (mit Verschleiß)}$$

eingesetzt werden und es ergibt sich für die Rillenweite des Zweiggleises:

$$W_{H,Z,\max} = (54 \cos \beta_H) - 13,5 \quad (\text{ohne Verschleiß im Stammgleis})$$

$$W_{H,Z,\max} = (52 \cos \beta_H) - 13,5 \quad (\text{mit Verschleiß im Stammgleis})$$

Bei einem Herzstückwinkel von z.B. $9,0334^{\text{gon}}$ (Einf. Weiche 100 - 1:7) erhält man als zulässige Breite im Zweiggleis bei einer geraden Stammgleisrille mit Verschleiß

$$W_{H,Z,\max} = (52 \cos 9,0334^{\text{gon}}) - 13,5 \sim \underline{38 \text{ mm}}$$

Wird die Zweiggleisrille nach „Einfaches Herzstück“ bemessen, so sind 32 mm für die Neuherstellung erforderlich, bei Einrechnung der Herstellungstoleranz von 1 mm bleiben 5 mm als Verschleißvorrat.

Eine Einfache Weiche mit durchgehendem Gleisbogenhalbmesser von 50 m hat bei Normalspur einen Herzstückwinkel von $15,1800^{\text{gon}}$. Wird das gerade Stammgleis nach „Doppeltes Herzstück“ bemessen mit 24 mm maximaler Rillenweite, ergibt sich für das Zweiggleis

$$W_{H,Z,\max} = (54 \cos 15,1800^{\text{gon}}) - 13,5 \sim \underline{39 \text{ mm}}$$

Da die Neubemessung mit 35 mm erfolgt, bleiben 4 mm Verschleißvorrat.

Nachweis des erforderlichen Klaffmaßes

Unterschlagende Zungen

Bei dem Radprofil des angenommenen Musterfahrwerks ergibt sich der größte vertikale Abstand des Berührungspunktes Backenschiene – Zunge von der GFT mit ~13 mm im Verschleißgrenzzustand (vgl. Bild 3.1 – Verschleißgrenzprofil, Bild 3.2 – Berührungspunktlage). Da ein Grundsatz der Bauart „unterschlagende Zunge“ die unverletzte durchgehende Berührlinie Rad-Schiene ist, kann also die Einarbeitung der Unterschlagung in die Backenschiene frühestens bei 13 mm unter GFT beginnen, d.h. die Zungenspitze muss mindestens 13 mm unter GFT liegen. Um ein Klaffmaß an der Zungenspitze zu ermöglichen, muss eine zusätzliche Abarbeitung an der Zungenspitze bis auf die kleinste zulässige Spurkranzhöhe minus 2 mm erfolgen, also auf $18 - 2 = 16$ mm. Entsprechend Bild 3.6 kann dann aber nur ein Klaffmaß von 1,5 mm zugelassen werden. Um das übliche erforderliche Klaffmaß von 3 mm zu ermöglichen, muss die Grenzneigung der Spurkranzstirnflanke flacher und/oder die minimale Spurkranzhöhe größer gewählt werden. In dem hier vorgestellten Beispiel mit einer Stirnflankenneigung von 1:4 im Neuzustand und der unter Verschleiß steiler werdenden Spurkranzstirn kann keine flachere Neigung als 1:6 gewählt werden, es kann also nur die kleinste Spurkranzhöhe vergrößert werden. Das Bild 3.7 zeigt die Situation bei einer kleinsten Spurkranzhöhe von 21 mm, dann ist ein Klaffmaß bis 3 mm zulässig. Wenn man sich allerdings dieser Lösung zuwendet, muss die vorstehende Quermaßberechnung mit dem nun veränderten Verschleißgrenzprofil wiederholt werden! Anderenfalls kann nur die Bauart „Eingelassene Zunge“ gewählt werden.

Eingelassene Zungen

Vor allem bei dieser Bauart wird die Anwendung des q_R -Maßes sichtbar im Sinne des voreilenden Berührungspunktes. Da allerdings die GGE vereinfacht in Höhe von 14 mm gewählt wurde (vgl. Quermaß-Nachweis, Abschnitt 1), ist hier doch mit der wirklichen tiefsten Berührungspunktlage 13 mm unter GFT zu rechnen. Entsprechend der größten zulässigen Neigung der Spurkranzstirn von 1:6 ergibt sich nach Bild 3.8 ein q_R von $(18 - 2 - 13) / 6 = \mathbf{0,5\ mm}$. Um also bei einem Klaffmaß von 3 mm ein Aufsteigen auf die Zungenspitze auszuschließen, muss die Zunge $3 - 0,5 = 2,5$ mm in die Backenschiene eingelassen werden.

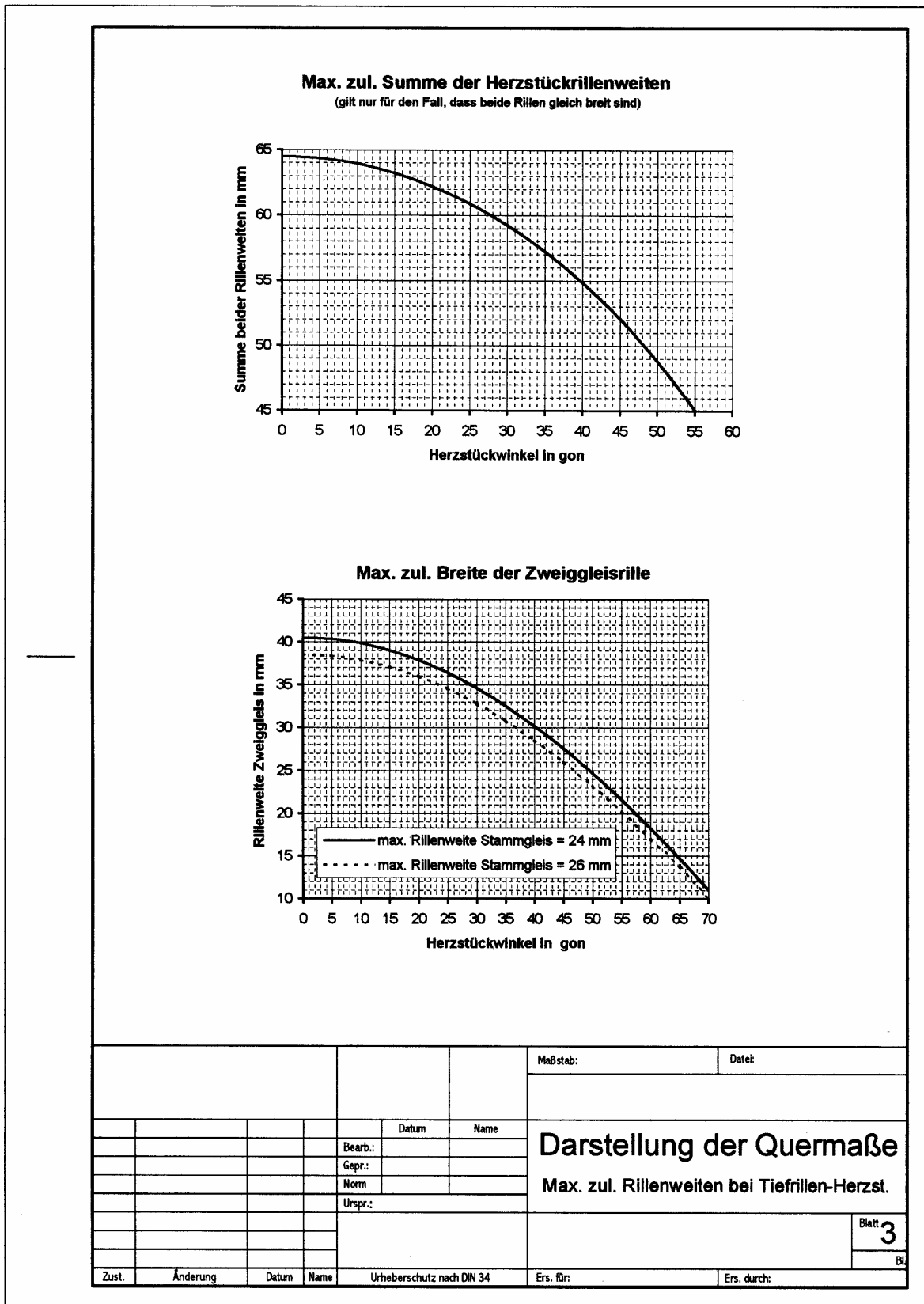


Diagramm 3.5: Maximal zulässige Rillenweiten für Tiefrillen-Herzstücke

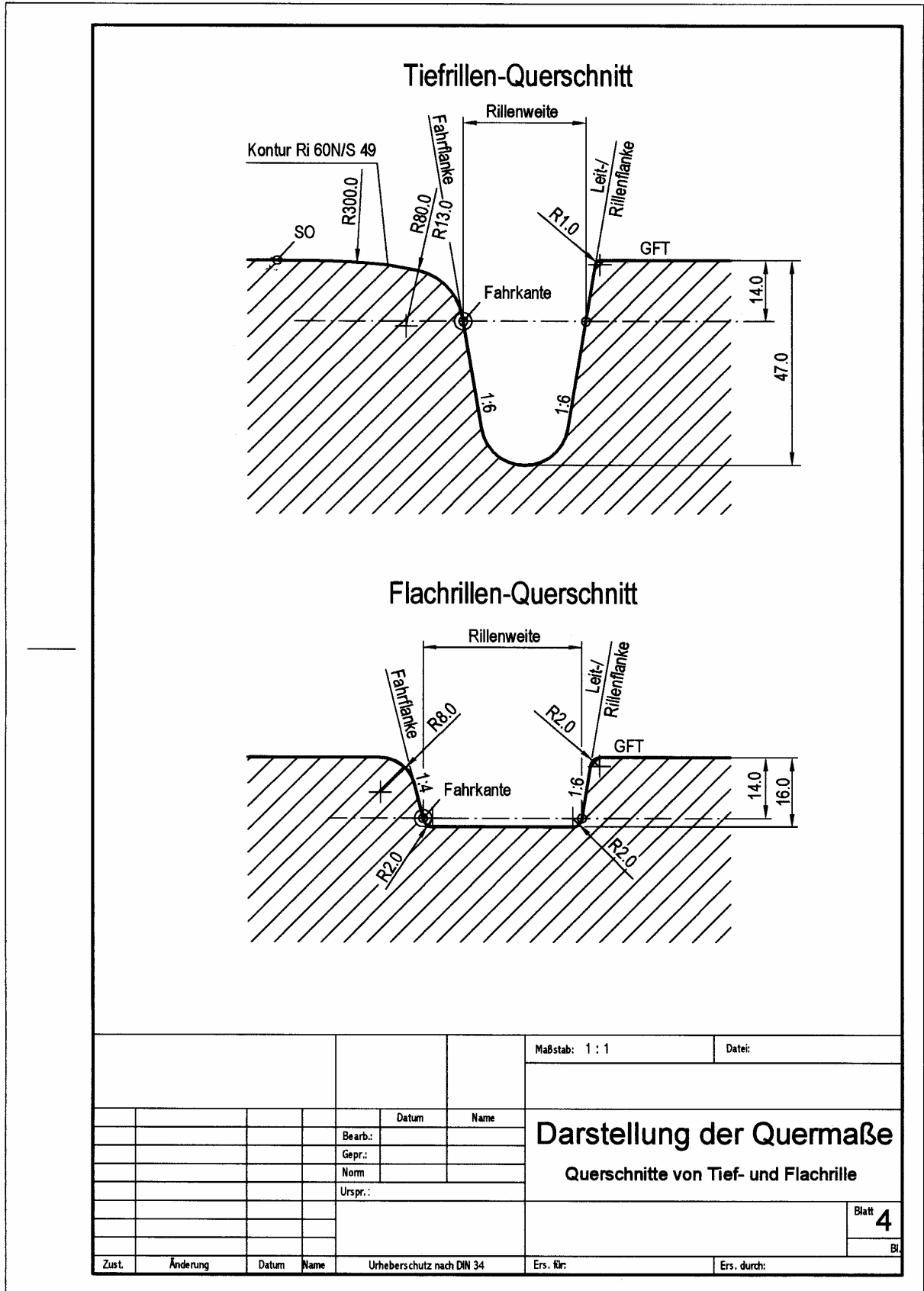


Bild 3.5: Querschnitt von Tief- und Flachriellen

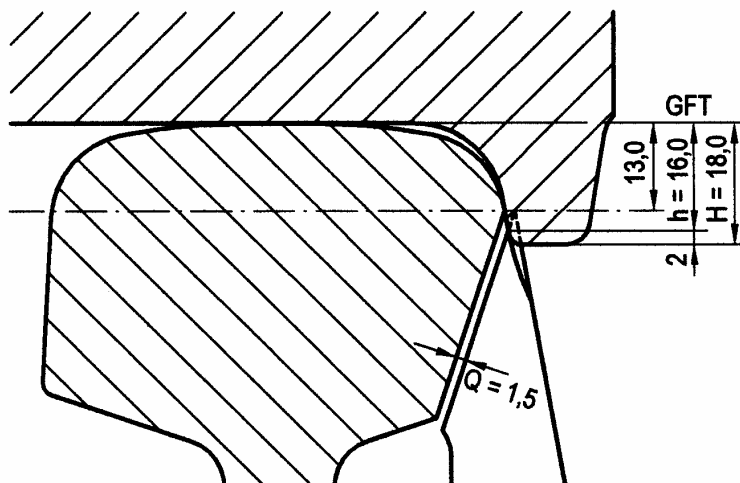


Bild 3.6: Unterschlagende Zunge
Zulässiges Klaffmaß beim Verschleißgrenzprofil nach Bild 3.1

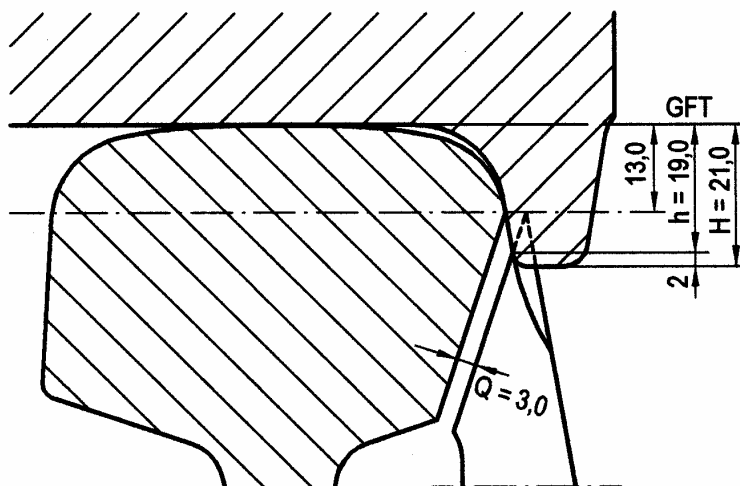


Bild 3.7: Unterschlagende Zunge
Zulässiges Klaffmaß beim veränderten Verschleißgrenzprofil

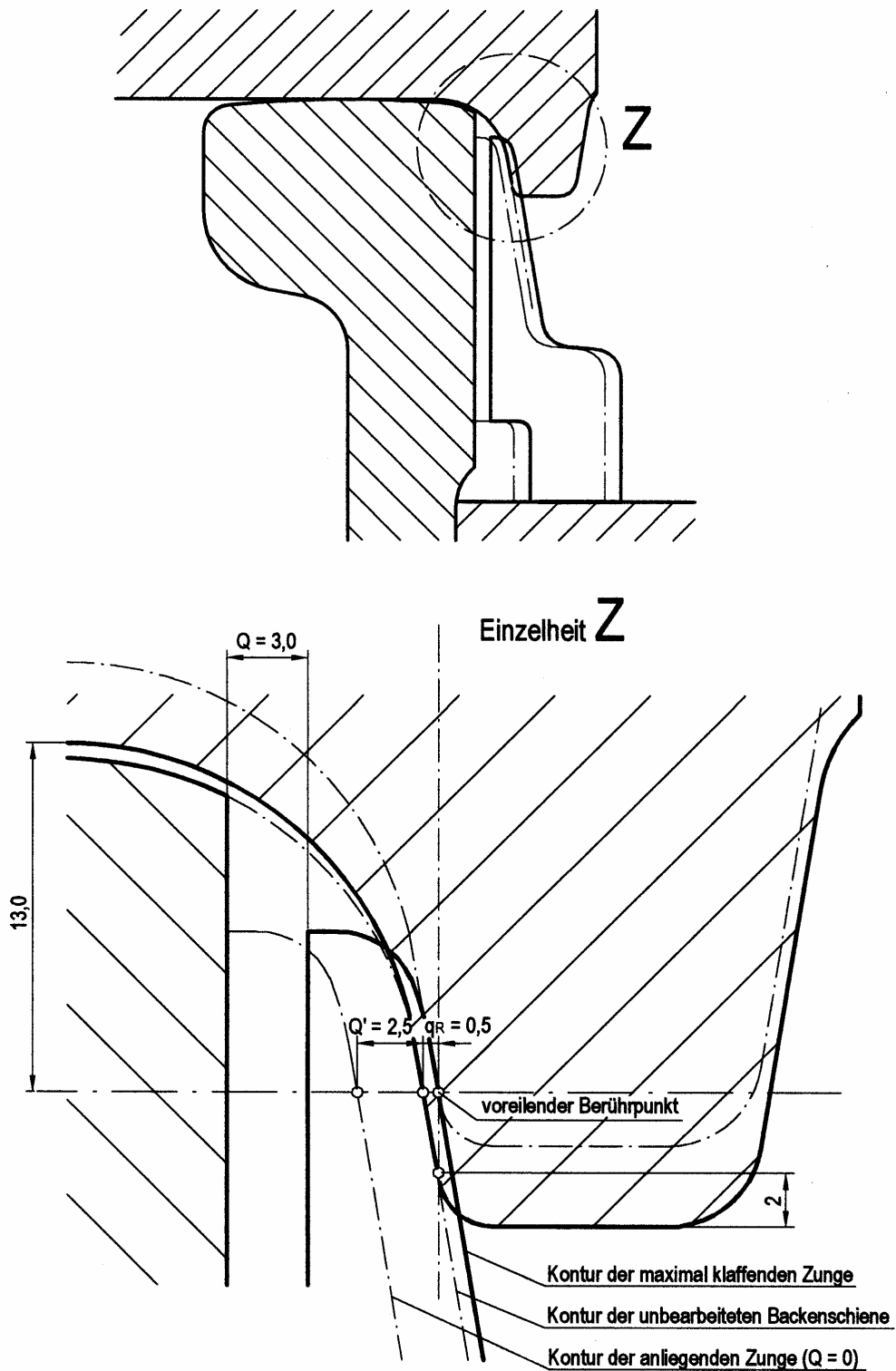


Bild 3.8: Eingelassene Zunge
Abhängigkeit Klaffmaß- q_R -Maß