

## LO4.1.3 Spurkranz schwächen

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug – Fahrweg Meterspur

Projekt: 3 Grundlagen Rad / Schiene

Modul: Systemische Aspekte Interaktion

### Technischer Bericht



---

ID: RAILPlusSF-00028

Datum / Status: 09.12.2023 / Freigegeben

Seitenanzahl 22

Verfasser: Lukas Schuler / RBS

Geprüft: Roland Müller / GleislauftechnikMueller

Freigegeben: Mauro Saputelli / PRJMA

---

Zitierweise: RAILplus, Schuler Lukas / RBS; RAILPlusSF-00028, Spurkranz schwächen, 09.12.2023

## Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1		Lukas Schuler	Erster Entwurf
0.2		Roland Müller	Bereinigter Entwurf.
0.4	12.11.2023	Mauro Saputelli	Bericht redigiert und finalisiert.
0.5	24.11.2023	Roland Müller und Lukas Schuler	Bereinigungen
0.6	29.11.2023	Lukas Schuler	Bereinigungen
1.0	09.12.2023	Mauro Saputelli	Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter

## Freigabe durch die Systemführerschaft

Version	Verantwortlich	Datum
1.0	Technical Board	18.12.2023
1.0	Management Board	

## Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
R0	Reprofilierung des Radprofils auf Nominalmass
R	Bogenradius
Rg	Grenzradius
$\alpha$	Anlaufwinkel
LD	Laufkreisdurchmesser
s	Halber Abstand der Messkreisebenen (in den Formeln im Gegensatz zur offiziellen Abkürzung als kleines s aufgeführt)
a	Halber Achsabstand
$\sigma$	Halbes Spurspiel

## Glossar

Abkürzung	Beschreibung
S <sub>d</sub>	Spurkranzdicke, Mass in axialer Richtung zwischen Radrücken und Schnittpunkt 10mm über der Messkreisebene mit dem Spurkranz
S <sub>h</sub>	Spurkranzhöhe, Mass von der Messkreisebene auf die Spurkranzhöhe in radialer Richtung
q <sub>R</sub>	Mass zwischen Schnittpunkt 10mm über Messkreisebene des Spurkranzes und Schnittpunkt 2mm unterhalb der Spurkranzkuppe mit dem Spurkranz in axialer Richtung gemessen.
Rg	Grenzradius, Radius ab dem sich Spiessgang einstellen kann
P1	Schnittpunkt 2mm unter Spurkranzkuppe am Spurkranz
P2 + P2'	Schnittpunkt 10mm über LD mit dem Spurkranz

## Management Summary

Der Spurkranz und dessen Kontur ist in Verbindung mit den Querabmessungen der Radsätze für die Interaktion Fahrzeug/Fahrweg und insbesondere für die Entgleisungssicherheit massgebend. Deshalb ist es unter Anderem wichtig, dass die entsprechenden Grenzmasse für die Spurkranzdicke, Spurkranzhöhe und für das  $q_R$ -Mass eingehalten werden. Je nach Art des Verschleisses am Spurkranz und an der Lauffläche werden deren Abmessungen jedoch

- grösser (hier spricht man von Spurkranzwachstum), oder
- kleiner (hier spricht man von Spurkranzverschleiss).

Die Spurkranzdicken und daraus resultierend das Spurmass haben einen entscheidenden Einfluss auf das Spurspiel. Dieses hat wiederum Auswirkungen auf das Fahrverhalten in den Bögen und bei höheren Fahrgeschwindigkeiten auf die Laufstabilität in der Geraden.

Diese Parameter des Spurkranzes haben zudem auch einen Einfluss auf den notwendigen Materialabtrag bzw. die Raddurchmesserreduktion bei der Reprofilierung, welche einen Einfluss auf die Gesamtaufleistung bzw. Lebensdauer der Räder, die Reprofilierungsintervalle und damit auch auf die LCC hat.

Unter diesen Gesichtspunkten kann es je nach Problemstellung sinnvoll sein, die Spurkränze gezielt zu schwächen:

- Wird im Fall des Wachstums der Spurkranzdicke im Betriebseinsatz der Spurkranz vorsorglich geschwächt, ist mit zunehmender Laufleistung die Gefahr eines zu kleinen Spurspiels vermindert und damit auch der Gefahr eines instabilen Fahrzeuglaufs vorgebeugt.
- Bei zu grossem Spurkranzverschleiss kann durch eine gezielte, stufenweise Spurkranzschwächung beim Reprofilieren (Sparreprofilierung) der max. Materialabtrag wie er zur Wiederherstellung der nominellen Spurkranzdicke minimiert werden. Damit kann die Lebensdauer/Gesamtaufleistung der Räder verlängert werden.

Ein wesentliches Problem stellen die meisten aktuellen Radprofile insofern dar, weil sie für eine solche Spurkranzschwächung nicht vorbereitet sind. Wird der Spurkranz dünner, verringert sich seine Höhe aufgrund der Überschneidung der beiden Radien der Spurkranzkuppe (Abbildung 11). Da die nominal festgelegte Spurkranzhöhe dem unteren Grenzwert entspricht, führt eine Schwächung des Spurkranzes, vergleichsweise zum Nominalmass, direkt zu einer geringeren Spurkranzhöhe und damit zu einer Verletzung des unteren Grenzwertes.

In diesem Bericht wird aufgezeigt, wie die einzelnen geometrischen Parameter zusammenhängen und welchen Einfluss der Verschleiss auf die jeweiligen Parameter hat. Zudem werden die daraus resultierenden Folgen betrachtet und Möglichkeiten zu deren Abminderung aufgezeigt.

Es wird empfohlen, Richtlinien ähnlich der EN13715 für die Anpassung von Radprofilen zu erstellen und in die RTE29500 aufzunehmen. Ausserdem wird empfohlen, Lücken in den Toleranzen der RTE29500 zu schliessen und bei Bedarf die Spurkranzhöhe grösser zu gestalten, um eine Schwächung ohne Verletzung der vorgegebenen Höhe vornehmen zu können.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Mechanismen des Spurkranzverschleisses</b> .....	<b>7</b>
2.1	Anlaufwinkel und Einfluss auf den Spurkranz .....	7
2.2	Spurkranzflankenwinkel und dessen Einfluss auf die Vorverlagerung des Berührungspunktes....	11
<b>3</b>	<b>Ungleichgewicht Laufflächen- und Spurkranzverschleiss</b> .....	<b>12</b>
3.1	Geringer Verschleiss des Spurkranzes (Wachstum der Spurkranzdicke) .....	12
3.2	Starker Verschleiss des Spurkranzes (Abnahme der Spurkranzdicke) .....	12
3.3	Auswirkungen bei Veränderung des Spurkranzes .....	13
3.3.1	<i>Wachstum der Spurkranzdicke</i> .....	13
3.3.2	<i>Verschleiss der Spurkranzflanke</i> .....	13
3.3.3	<i>Reprofilierung / Verschleissvorrat</i> .....	14
3.4	Spurkranzgestaltung bei der Fertigung.....	14
3.4.1	<i>Möglichkeiten bei Wachstum der Spurkranzdicke</i> .....	14
3.4.2	<i>Möglichkeiten bei dominierendem Verschleiss am Spurkranz</i> .....	16
3.4.3	<i>Spurkranzschwächung Typ A-C RTE29500</i> .....	16
<b>4</b>	<b>Kontrolle und Trendanalyse bei der Entwicklung der Spurkranzdicken</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>21</b>
6.1	Referenzen .....	21
6.2	Abbildungen .....	21
6.3	Tabellen .....	21
<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>22</b>

## 1 Ausgangslage

Für die sichere Spurführung wurden in der RTE 29500 verschiedene Masse der Räder und Radsätze definiert. Dabei lag bei deren Festlegung das Schwergewicht in der Interaktion der Radsätze in den Weichen und dort insbesondere in den Bereichen der Zunge und des Herzstücks von einfachen Weichen. Beim kompletten Radsatz sind dies neben seinen Querabmessungen auch die Abmessungen an den Spurkränzen der Räder. An diesem sind die massgebenden Grössen  $S_d$ ,  $S_h$ ,  $q_R$  sowie der Ort der Spurkranzkuppe. Diese Masse stehen zueinander in einer Beziehung, da sie die Gestaltung der Kontur des Spurkranzes bestimmen. Wird eines dieser Masse verändert, muss die Auswirkung auf die anderen Masse genau betrachtet werden, da es sonst zu einer Verletzung der Toleranzen bei den anderen Massen kommen kann.

Neben den geometrischen Anpassungen und dem daraus resultierenden Nominalprofil erfährt das Radprofil im Betriebseinsatz Veränderungen durch den Verschleiss. Je nach dessen Ausprägung sind verschiedene Bereiche des verschlissenen Radprofils massgebend für die Grösse des Materialabtrags anlässlich der Reprofilierung (R0). Wenn der Verschleiss an der Spurkranzflanke überwiegt, muss viel mehr Material abgetragen werden, als es aufgrund des Zustands der Lauffläche notwendig wäre. Dadurch wird ein Teil des Verschleissvorrats als Folge der Durchmesserreduktion bei der Reprofilierung verschenkt, was die Gesamtleistung der Räder vermindert und deren vorzeitigen Austausch zur Folge hat. Als Verschleissvorrat wird die im Betrieb nutzbare Durchmesserreduktion der Räder bezeichnet (Differenz zwischen maximalem und minimalem Raddurchmesser). Bei dominantem Spurkranzverschleiss sind bei Korrekturmassnahmen insbesondere die Abmessungen  $S_h$  und  $q_R$  zu beachten, da die Gefahr besteht, dass diese Abmessungen unter die Grenzwerte aus der RTE 29500 fallen können.

Dominiert der Verschleiss an der Radlauffläche, so kann der Verschleissvorrat optimal genutzt werden. Es besteht dann jedoch die Gefahr, dass die Spurkranzdicke wächst und das entsprechende obere Grenzmass überschritten wird. Werden die Spurkränze zu dick hat dies einen Einfluss auf das Spurspiel und/oder auf die Interaktion in den Herzstückbereichen der Weichen und Kreuzungen (Leitweite, Rillenweiten, usw.). Dies kann zudem zu instabilem Fahrzeuglauf führen oder aber zu einer Entgleisung im Herzstückbereich der Weichen und Kreuzungen.



Abbildung 1: Unterschiede bei der Reprofilierung in Abhängigkeit des vorherrschenden Verschleisses an Spurkranz oder Lauffläche

In diesem Bericht soll auf die verschiedenen Einflüsse des Verschleisses auf den Spurkranz eingegangen werden. Ziel ist es, die Ursachen des Verschleisses aufzuzeigen und vorzuschlagen was unternommen werden kann, um die negativen Auswirkungen auf die Lebensdauer der Räder zu minimieren.

## 2 Mechanismen des Spurkranzverschleisses

### 2.1 Anlaufwinkel und Einfluss auf den Spurkranz

Beginnt der Spurkranz im Bogen an der bogenäusseren Schiene anzulaufen, verschiebt sich der Kontaktpunkt des Spurkranzes neben demjenigen in der Lauffläche je nach Anlaufwinkel mehr oder weniger nach vorne (siehe Abbildung 5). Je nachdem wie gross der Anlaufwinkel ist und wie weit sich der Kontaktpunkt am Spurkranz nach vorne verlagert, wird die max. nutzbare seitliche Verschiebung des Radsatzes eingeschränkt. Damit reduziert sich die für den Fall radialer Radsatzeinstellung maximal ausnutzbare Rollradiendifferenz. Bei den folgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass sich die Radsätze im Bogen nicht radial einstellen können (starre Radsatzführung).

Der Anlaufwinkel ist am grössten, wenn sich das Fahrwerk im Bogen in der Spiessgangstellung bewegt (siehe Abbildung 2: Fahrwerksstellungen im Spurkanal). Je nach Bogenradius, Spurspiel, Achsabstand und Abstand der Messkreisebenen tritt Spiessgang in unterschiedlichen Bogenradien ein. Nach [1] kann bei bekanntem Spurspiel  $2\sigma$  und bekanntem Achsabstand  $2a$  der Grenzradius  $R_g$  zwischen Spiessgang und Freilauf des Fahrzeugs/Fahrwerks im Gleisbogen berechnet werden zu:

$$R_g = \frac{s^2}{2\sigma} \left[ 1 + \sqrt{\left[ \left( \frac{2a}{s} \right)^2 + 1 \right]^2 + 4 \sqrt{1 + \left( \frac{2a}{s} \right)^2}} \right] \text{ Formel 2-1}$$

$R_g$ =Grenzradius

$2s$ = Abstand der Messkreisebenen

$2a$ = Achsabstand

$2\sigma$ = Spurspiel

Die folgenden Betrachtungen werden für die beiden in Abbildung 2 oben aufgeführten Extremstellungen der Fahrwerke im Gleis betrachtet. Der Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene ist in der Spiessgangstellung am grössten und in der äusseren Sehnengangstellung am kleinsten. Im Rahmen der Arbeiten der Systemführerschaft wird vertieft untersucht werden, wie sich die Fahrwerke im Bogen in der Realität unter Berücksichtigung verschiedener Einflussparameter einstellen. Es ist davon auszugehen, dass sich die Fahrwerke, mit Ausnahme bei noch festzulegenden sehr kleinen Bogenhalbmessern, vorwiegend im Freilauf bewegen (Abbildung 2 unten).

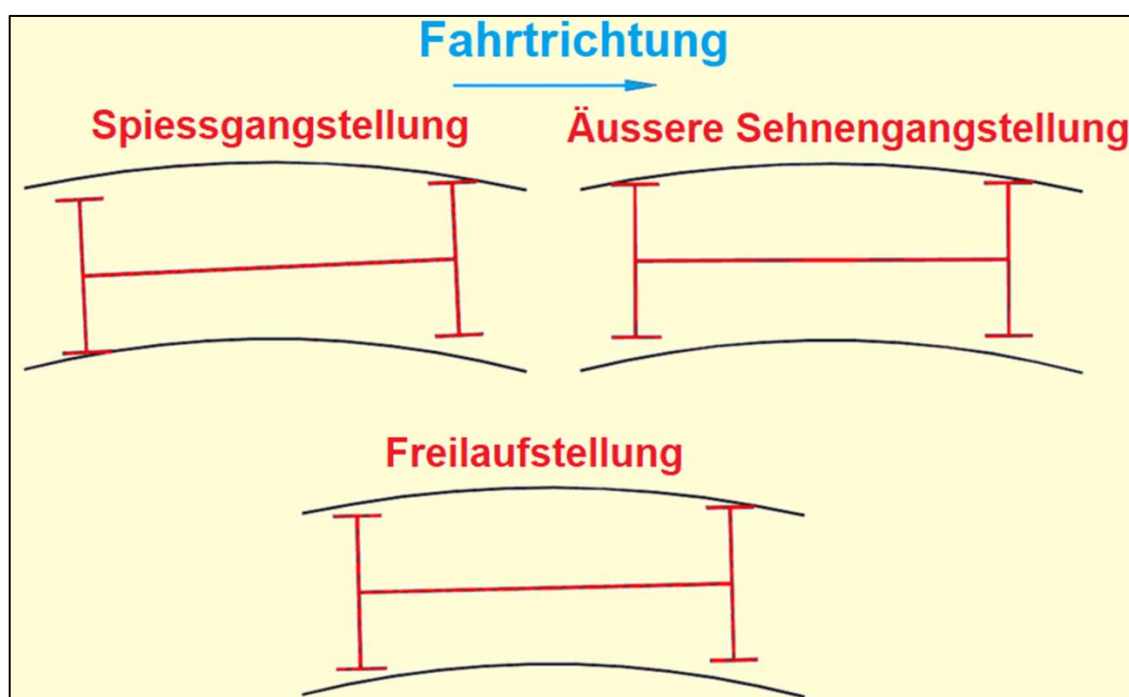


Abbildung 2: Fahrwerksstellungen im Spurkanal

Der Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene wird mit folgenden Formeln ermittelt. Dieser beträgt einerseits für die Spiessgangstellung ( $\alpha_{max}$ ) und andererseits für die Aussensehnenstellung ( $\alpha_{min}$ ):

$$\alpha_{max} = \tan^{-1}\left(\frac{a}{R} + \frac{\sigma}{a}\right) \text{ Formel 2-2}$$

$$\alpha_{min} = \tan^{-1}\left(\frac{a}{R+\sigma}\right) \text{ Formel 2-3}$$

Berechnet man daraus mit der Formel 2-1 anhand der max. zulässigen Grenzwerte gemäss AB-EBV sowie RTE29500 für Rad/Schiene und Fahrzeuge mit einem Achsabstand  $2a$  von 1800mm den Grenzwert für den Spiessgang wie auch den Anlaufwinkel erhält man folgende Resultate:

		2a	2 $\sigma$ [mm]	2s [mm]	Grenzwert für Spiessgang Rg [m]	$\alpha_{max}$ [°]	$\alpha_{min}$ [°]
Neubau	Mittelwert	1800	14.5	1050.5	136	0.8	0.4
	min	1800	21	1050	94	1.2	0.5
	max	1800	8	1051	246	0.5	0.2
im Betrieb	Mittelwert	1800	31	1049.5	64	1.8	0.8
	min	1800	55	1048	36	3.2	1.4
	max	1800	7	1051	282	0.4	0.2
Werte gemäss RTE 29500 Radsatz TypA+B							
		Neubau		im Betrieb			
		min	max	min	max		
Spurmass [mm]	979	990	975	990			
Messkreisebene [mm]	1050	1051	1048	1051	$\sigma_{max} = \text{Spurweite}_{max} - \text{Spurmass}_{min}$		
$\sigma$	8	21	7	55	$\sigma_{min} = \text{Spurweite}_{min} - \text{Spurmass}_{max}$		
Spurweite [mm]	998	1000	997	1030	Toleranzen AB-EBV		

Tabelle 1: Berechnung der maximalen und minimalen Anlaufwinkel in Abhängigkeit des Stellungswinkels des Radsatzes

Da das Spurspiel  $2\sigma$  bei Radsatz Typ A und Typ B gemäss R-RTE29500 gleich ist, sind für diese beiden Radsatztypen sowohl  $\alpha_{max}$  als auch  $\alpha_{min}$  identisch. Beim Radsatz Typ C sind infolge der nominell dünneren Spurkranzdicke  $\alpha_{min}$  grösser als bei Typ A und B jedoch bleibt  $\alpha_{max}$  identisch.

Anhand dieser Werte kann man den vorverlagerten Berührungspunkt berechnen (Abbildung 3 und Abbildung 4). Dies wurde anhand des Radprofils R.02.173 der RBS mit Durchmesser 770mm ( $\varnothing_{LD}$ ) und max. Spurspiel für einen 50m Bogenradius beispielhaft anhand des Berechnungsmodells aus [1] durchgeführt.



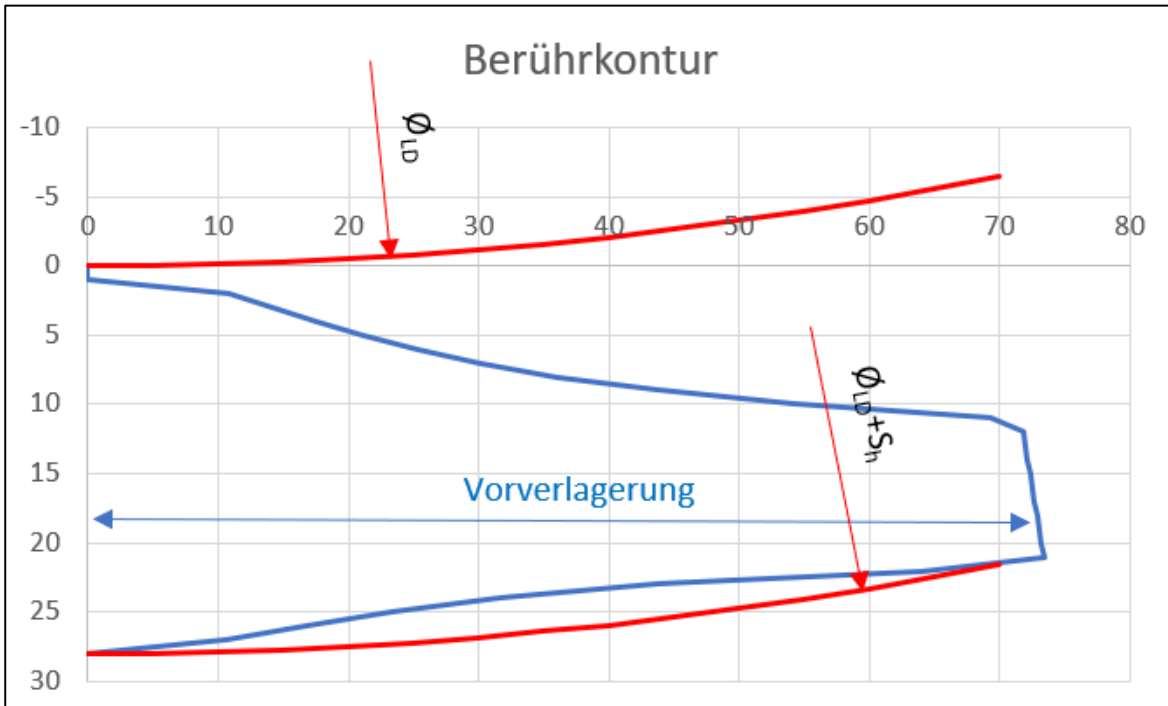


Abbildung 3 Vorverlagerung bei Anlaufwinkel 2.78°->Spießgangstellung

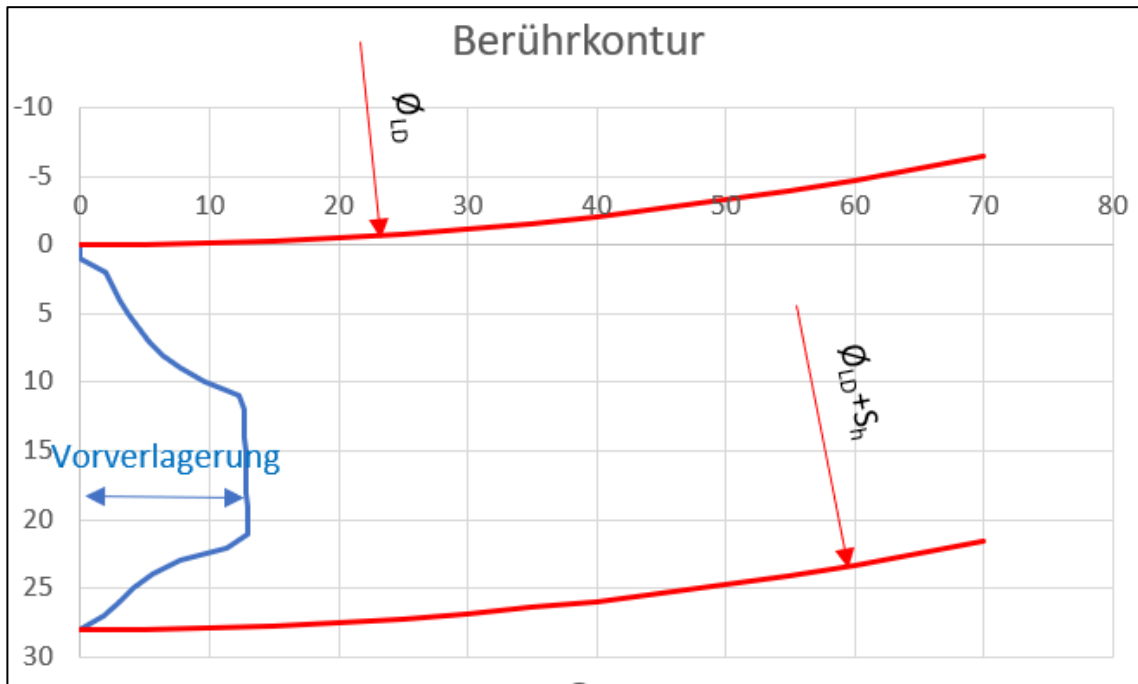


Abbildung 4 Vorverlagerung bei Anlaufwinkel 0.49° ->äussere Sehnengangstellung

Durch den Anlaufwinkel und die daraus resultierende Vorverlagerung des Berührungspunktes zwischen Rad und Schiene wird die max. Querverschiebung des Radsatzes in Richtung bogenaussen im Spurkanal eingeschränkt (Abbildung 5). Dies hat zur Folge, dass im Vergleich zur tangentialen Einstellung des Radsatzes eine kleinere Rollradiendifferenz erzeugt werden kann, was sich ungünstig auf den Bogenlauf auswirkt.

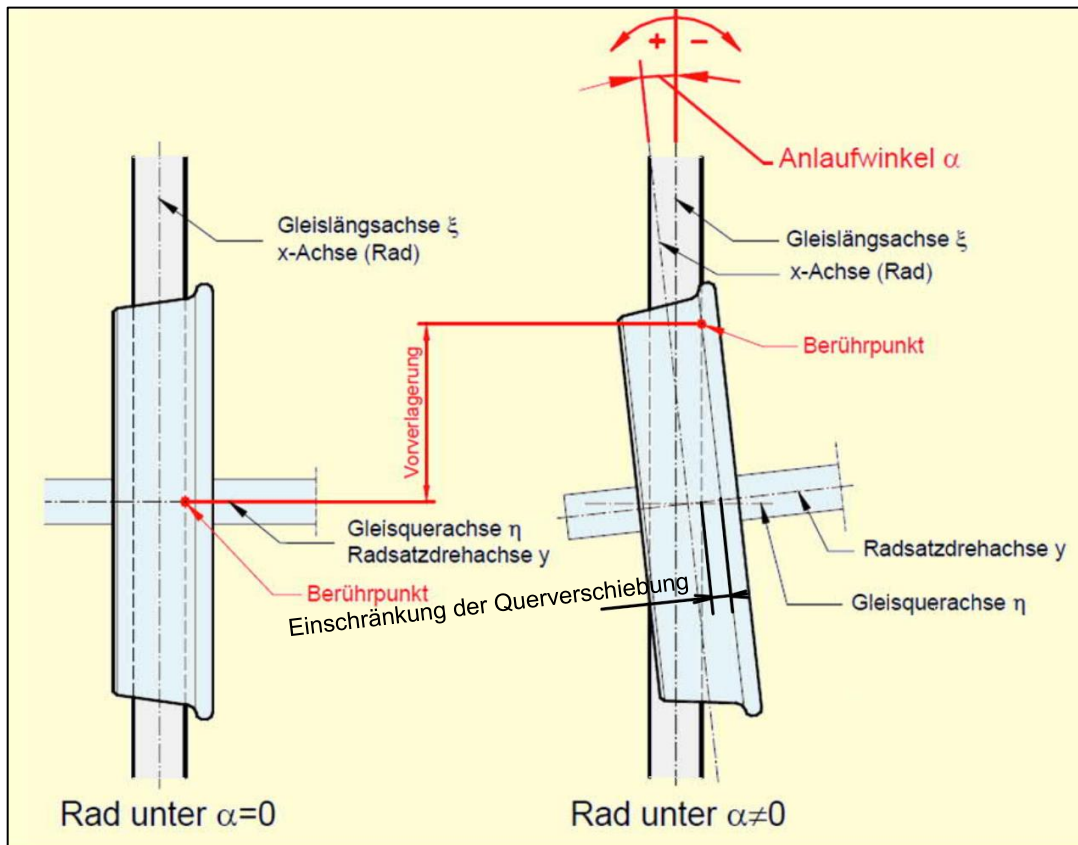


Abbildung 5 Einschränkung der Querverschiebung

In der Tabelle 2 und Tabelle 3 sind sowohl die Anlaufwinkel als auch die Einschränkungen der Querverschiebung für verschieden Kurvenradien sowie unterschiedliche Spurspiele aufgeführt. Die dort angegebenen Werte zeigen die Extremwerte in der Spiessgangstellung und sind insbesondere bei grossen Bogenradien rein theoretischer Natur.

R	$2\sigma$								
	7	13	19	25	31	37	43	49	55
50	1.25	1.44	1.64	1.83	2.02	2.21	2.40	2.59	2.78
100	0.74	0.93	1.12	1.31	1.50	1.69	1.88	2.07	2.27
150	0.57	0.76	0.95	1.14	1.33	1.52	1.71	1.90	2.09
200	0.48	0.67	0.86	1.05	1.24	1.44	1.63	1.82	2.01
250	0.43	0.62	0.81	1.00	1.19	1.38	1.57	1.77	1.96
300	0.39	0.59	0.78	0.97	1.16	1.35	1.54	1.73	1.92

Tabelle 2  $\alpha_{max}$  in Abhängigkeit des Kurvenradius und des Spurspiels

R	$2\sigma$								
	7	13	19	25	31	37	43	49	55
50	0.73	0.96	1.23	1.54	1.88	2.25	2.65	3.09	3.56
100	0.25	0.40	0.58	0.79	1.04	1.32	1.64	1.98	2.37
150	0.15	0.26	0.42	0.60	0.82	1.07	1.35	1.67	2.02
200	0.11	0.21	0.34	0.51	0.71	0.95	1.22	1.52	1.86
250	0.08	0.18	0.30	0.46	0.66	0.88	1.14	1.44	1.76
300	0.07	0.16	0.28	0.43	0.62	0.84	1.09	1.38	1.70

Tabelle 3 Einschränkung Querverschiebung in Abhängigkeit des Spurspiels und des Kurvenradius bei  $\alpha_{max}$

Generell kann gesagt werden, dass ein vergrössertes Spurspiel einen grösseren Anlaufwinkel zu Folge hat. Daher ist zu beachten, dass wenn die Spurkränze geschwächt werden, dies eine Vergrösserung des Spurspiels und in der Folge auch eine Vergrösserung des Anlaufwinkel hat. Eine Spurkranzschwä-

chung oder auch Spurerweiterung kann den befahrbaren Grenzradius zwar verkleinern, jedoch geschieht dies auf Kosten eines vergrösserten Anlaufwinkels und einer einhergehenden Vorverlagerung des Berührungspunktes. Diese Vorverlagerung wirkt sich jedoch infolge hoher Reibkräfte an Spurkranz/Schienenflanke negativ auf den Verschleiss aus.

## 2.2 Spurkranzflankenwinkel und dessen Einfluss auf die Vorverlagerung des Berührungspunktes

Der Spurkranzflankenwinkel hat einen direkten Einfluss auf die Vorverlagerung des Berührungspunktes. Je grösser dieser ist, desto grösser wird die Vorverlagerung.

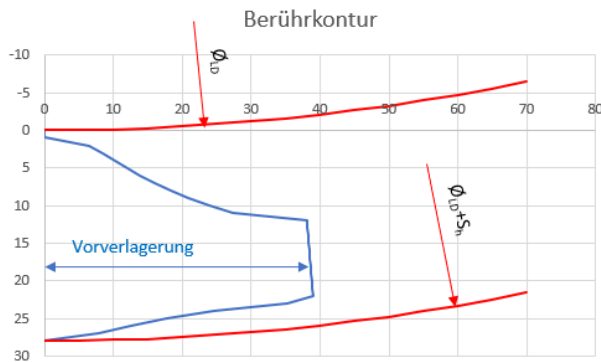


Abbildung 6 Berührungskontur bei 70° Spurkranzwinkel und 2° Anlaufwinkel

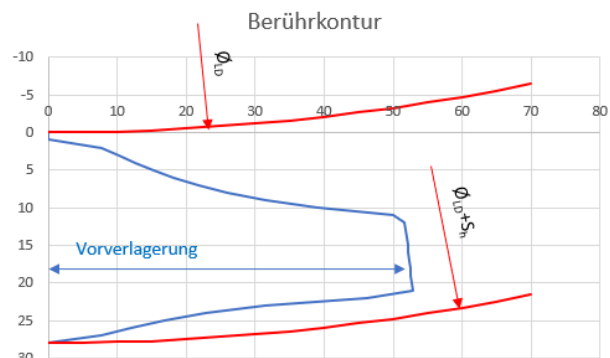


Abbildung 7 Berührungskontur bei 75° Spurkranzwinkel und 2° Anlaufwinkel

Welchen Einfluss die Vorverlagerung auf den Verschleiss hat, ist nicht Gegenstand dieses Berichtes. Dies kann aber mittels Simulationsrechnungen ermittelt werden. Bei der Normalspur ist der Spurkranzflankenwinkel auf 70° festgelegt. Gemäss RTE29500 beträgt dieser bei den Meterspurprofilen 75°. Dieser grössere Winkel bei der Meterspur hat einerseits ein günstigeres Verhalten gegenüber der Entgleisung in Gleisverwindungen (ORE B55 und Formel von Nadal) zur Folge. Er wirkt sich jedoch andererseits ungünstiger auf das Verschleissverhalten von Rad und Schiene aus.

### 3 Ungleichgewicht Laufflächen- und Spurkranzverschleiss

Der Spurkranz hat einen grossen Einfluss auf die Entgleisungssicherheit. Die Gestaltung des Spurkranzes muss jedoch den Widerspruch zwischen den Anforderungen hinsichtlich des Aufkletterns, insbesondere in den engen Bögen auf offener Strecke, und dem Aufsteigen an Bauelementen im Spurkanal meistern (Weichenzungen, Herzstückspitzen, usw.). Hinzu kommt sein Einfluss auf die Veränderungen beim Spurspiel (Spurmass) und bei den Leitmassen (Herzstückbereich der Weichen).

Einen direkten Einfluss auf die Entwicklung des Spurkranzes hat die Spurkranzschmierung. Bei zu geringer bzw. abreissender Schmierung oder gar beim Versagen der Spurkranzschmierung werden die Spurkränze vor allem in den engen Bögen tendenziell stärker verschleissen als in den übrigen Trassierungsbereichen. Kommt es sogar zum katastrophalem Spurkranzverschleiss, so wird das Minimum des  $q_R$ -Masses innerhalb kürzester Zeit erreicht [2].

#### 3.1 Geringer Verschleiss des Spurkranzes (Wachstum der Spurkranzdicke)

Bei einem optimal geschmierten Spurkranz kommt es unter Umständen zu keinem oder aber so geringem Spurkranzverschleiss, dass mit zunehmendem Laufflächenverschleiss die Spurkranzdicke  $S_d$  sowie das  $q_R$ -Mass tendenziell grösser werden. In diesem Fall spricht man von Spurkranzdickenwachstum (siehe Abbildung 8). Durch den Laufflächenverschleiss wandert der Bezugspunkt (P2) für die Messung der Spurkranzdicke (10mm über Laufkreisdurchmesser) in Richtung der äusseren Radstirnseite (P2'). Dadurch dass der obere Bezugspunkt (P1) für die Messung des  $q_R$ -Masses (2mm unterhalb der Spurkranzkuppe) in diesem Falle keinem Verschleiss unterliegt, wächst in der Folge neben der  $S_d$  auch der Wert von  $q_R$ .

Spurkranzschwächung W98

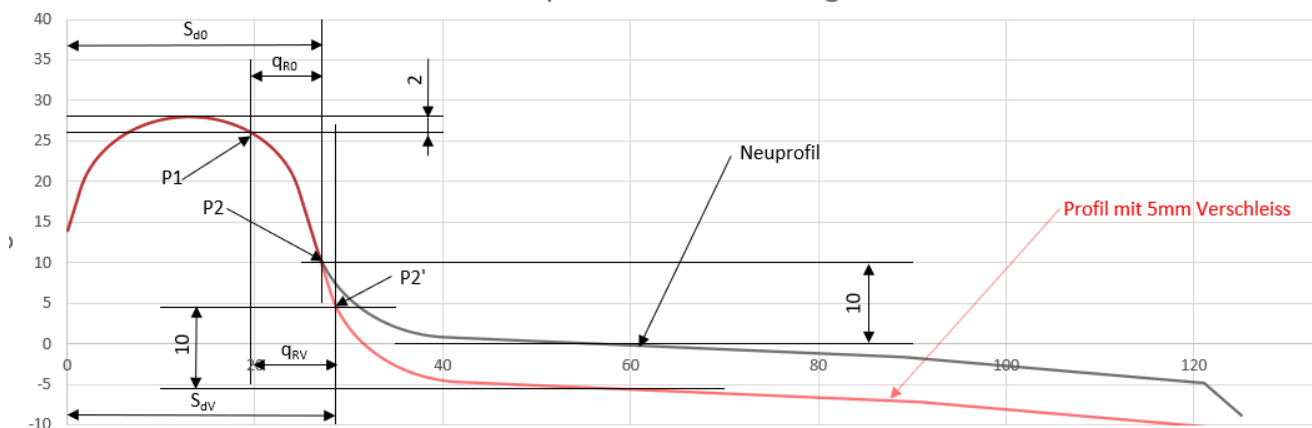


Abbildung 8 Spurkranzdickenwachstum

#### 3.2 Starker Verschleiss des Spurkranzes (Abnahme der Spurkranzdicke)

Je nach Fahrwerk und Form des Radprofils kommt es ab bestimmten kleinen Bogenradien zum Anlaufen der Spurkranzflanke an der Schienenfahrkante bzw. Schienenflanke. Je nach Schmierzustand ist der daraus resultierende Verschleiss so gross, dass es zum Spurkranzverschleiss kommt. Dieser führt dazu, dass die Spurkranzdicke und insbesondere das  $q_R$ -Mass kleiner werden. In diesem Fall spricht man von Spurkranzverschleiss (siehe Abbildung 9). Durch den steiler werdenden Spurkranz verschiebt sich die Hohlkehle in Richtung Radrücken und der untere Bezugspunkt (P2) wandert in die gleiche Richtung (P2'). Dadurch werden  $S_d$  und  $q_R$  kleiner.

### Spurkranzverschleiss W98

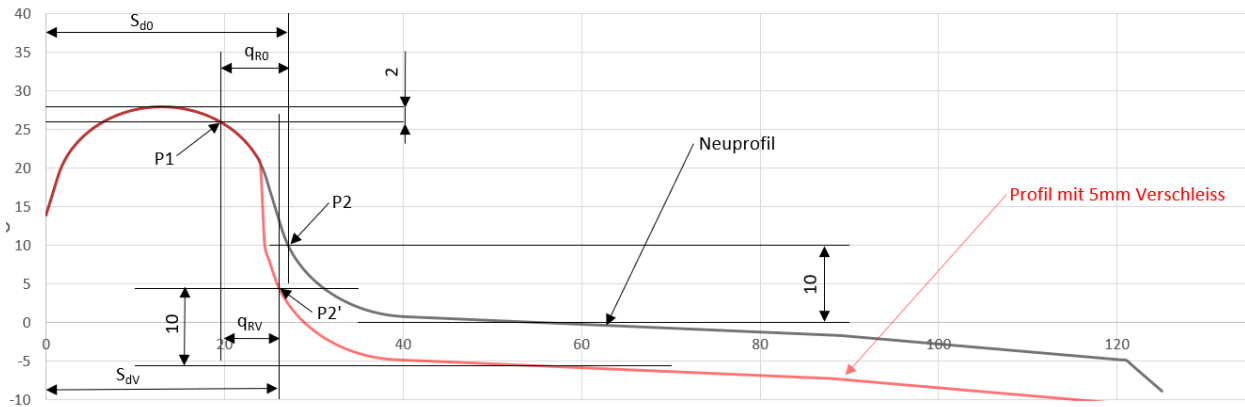


Abbildung 9 Spurkranzverschleiss

## 3.3 Auswirkungen bei Veränderung des Spurkranzes

### 3.3.1 Wachstum der Spurkranzdicke

Zusammen mit dem Radrückenabstand  $A_R$  definieren die Spurkranzdicken  $S_d$  der beiden Räder das Spurmass  $S_m$ . Wachsen die Spurkränze werden Spurmass und Leitmass grösser und damit das Spurspiel und der Abstand des Spurkranzes zur Herzstückspitze kleiner. Erreicht das Spurspiel ein kritisches Mass so führt dies zu einer erhöhten äquivalenten Konizität was in der Folge zu instabilem Lauf der Fahrwerke (Frequenz 4-6Hz in Querrichtung) führen kann. Zudem kann es zu einer unzulässigen Vergrösserung des Leitmasses führen. Wird der Grenzwert des Leitmasses überschritten, so kommt es zur Verletzung der der Interaktion mit der Leitweite und damit zur Kollision mit der Herzstückspitze, da dann das Leitmass nicht mehr kleiner ist als die Leitweite (Abbildung 10).

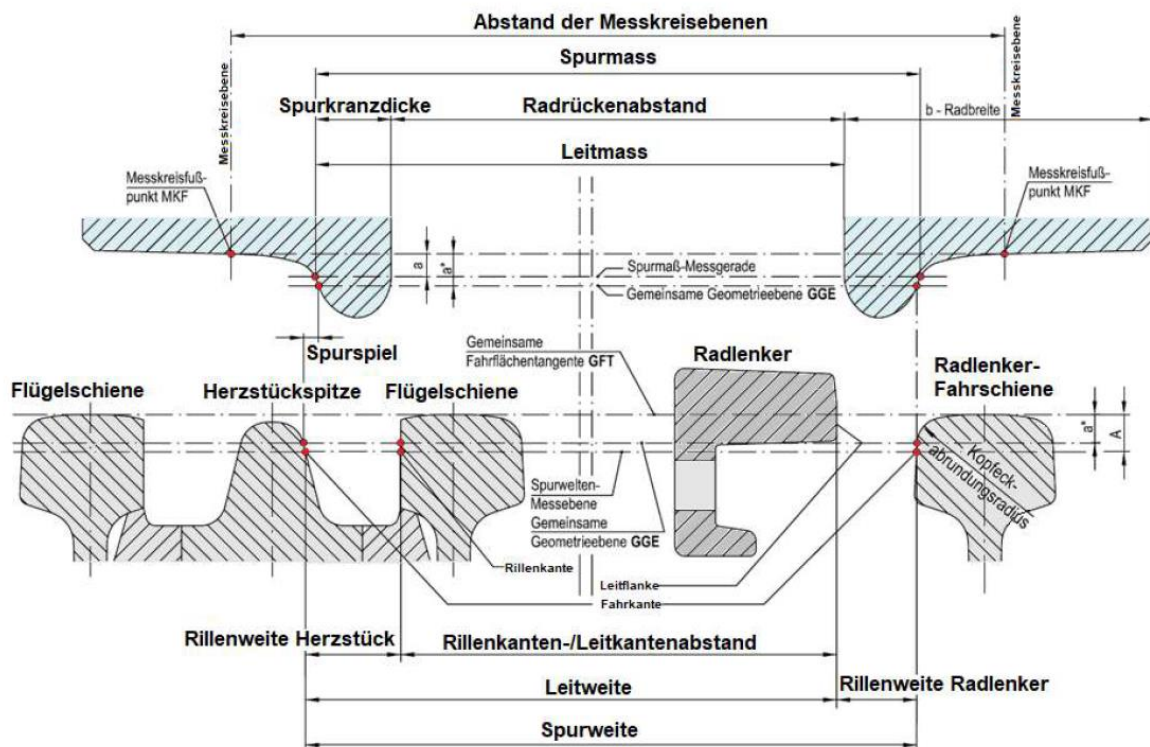


Abbildung 10 Zusammenspiel Radsatz/Weiche im Herzstückbereich

### 3.3.2 Verschleiss der Spurkranzflanke

Umgekehrt als beim Spurkranzdickenwachstum verhält es sich beim Spurkranzverschleiss. In diesem Fall wird das Spurmass kleiner und somit steigt das Spurspiel. Dies kann auf geraden Strecken und

höheren Fahrgeschwindigkeiten zu einer Instabilität des Wagenkastens führen (low body motions). Bei kleiner werdendem  $q_R$ -Mass besteht insbesondere bei Bogenweichen in engen Bogenhalbmessern die Gefahr des Aufsteigens an Weichenzungenspitzen.

### 3.3.3 Reprofilierung / Verschleissvorrat

Spurkranzwachstum hat bei der Reprofilierung kaum Auswirkungen auf die Lebensdauer der Räder, da der Laufflächenverschleiss dominant ist und damit zur Wiederherstellung des Nominalprofils nur ein geringer Durchmesserabtrag erforderlich ist. Dies setzt jedoch voraus, dass keine grösseren Schäden an den Fahrflächen vorhanden sind (tiefe Risse als Folge der Rollkontaktermüdung) die den Materialabtrag bestimmen (siehe Abbildung 1). Bei dominierendem Spurkranzverschleiss ist jedoch der Verschleiss am Spurkranz grösser als der an der Lauffläche. Bei der Wiederherstellung des Nominalprofils wird in diesem Fall durch die grosse Durchmesserreduktion ein grösserer Teil des Verschleissvorrats des Rades durch den Reprofilierungsabtrag verschenkt.

## 3.4 Spurkranzgestaltung bei der Fertigung

Eine Anleitung dazu, wie bei Anpassungen im Bereich der Spurkränze bei den Meterspurprofilen vorzugehen ist, existiert für die Meterspur nicht. Dies im Gegensatz zur Normalspur, bei welcher dies in der EN13715 geregelt ist. Diese Norm legt für die Normalspur verbindliche und nicht verbindliche Bereiche bei den Radprofilen aus den Gesichtspunkten der geometrischen Interaktion fest. Die RTE29500 gibt hierzu keine weiteren Hinweise ausser, dass der Spurkranz im Neuzustand (nominell) eine untere Toleranz 0 hat. Eine obere Toleranz für die Spurkranzhöhe ist nicht definiert.

### 3.4.1 Möglichkeiten bei Wachstum der Spurkranzdicke

Im Dokument LO2.2.1 [3] sind die verschiedenen Radprofile der Meterspurbahnen der Schweiz dargestellt. Hier ist auch ersichtlich, dass es einige Bahnen gibt, die mit einem gegenüber der RTE29500 kleineren nominellen  $S_d$  unterwegs sind und damit bereits spurkranzgeschwächte Radprofile verwenden (z.B. RBS). Eine Spurkranzschwächung analog der EN13715 [4] ist je nach Radprofil schwierig umzusetzen, da die Radien an der Spurkranzkuppe kleiner sind als im Normalspurbereich und dadurch die Auswirkung der Überlappung der beiden Radien zu einer stärkeren Reduktion der  $S_h$  (Abbildung 11) führt.

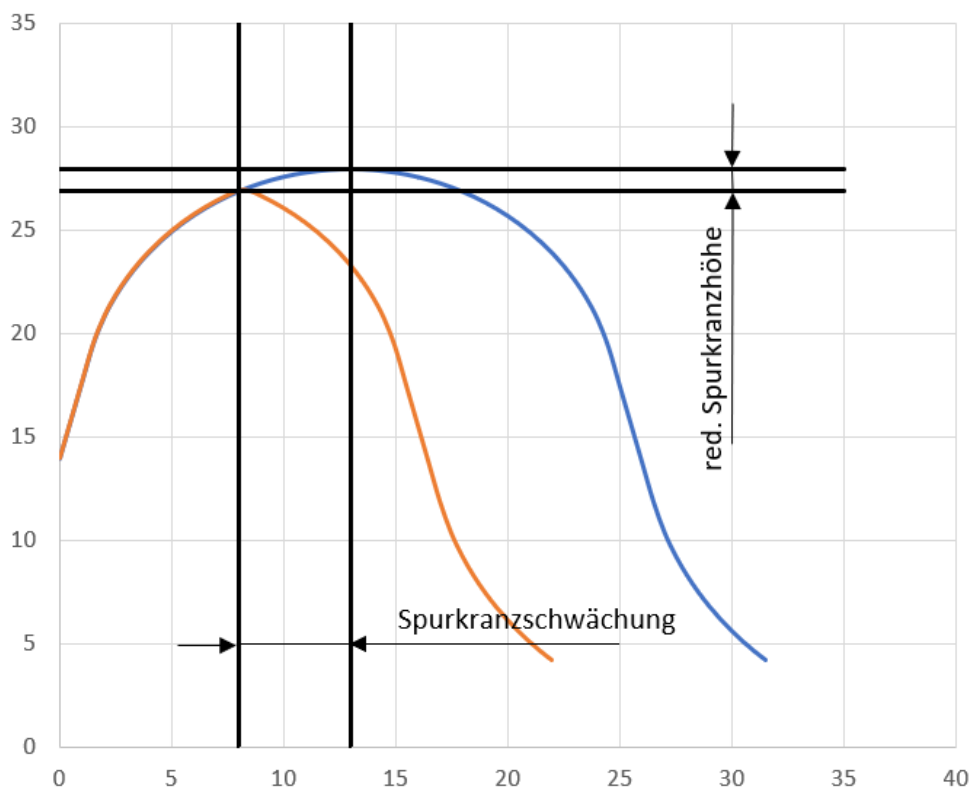


Abbildung 11 Zusammenhang Spurkranzhöhe/-dicke

Anhand der Profile W98 (z.B. MGB) und R.02.173 (z.B. RBS) wird hier dargestellt, wie sich eine Spurkranzschwächung auf das Radprofil auswirkt (Abbildung 14 + Abbildung 15). Die Spurkranzschwächung wurde entsprechend der EN13715 durchgeführt. Bei beiden Profilen wird  $S_h$  kleiner. Da sich beim R.02.173 auf der Spurkranzkuppe eine 1.2mm lange Gerade (Abbildung 15) befindet, wird bei der Schwächung der Spurkranzdicke von 1mm die Spurkranzhöhe  $S_h$  noch nicht kleiner. Bei einer Schwächung von 3mm wird bei diesem Profil analog zum Radprofil W98 die Spurkranzhöhe um 0.4mm reduziert.

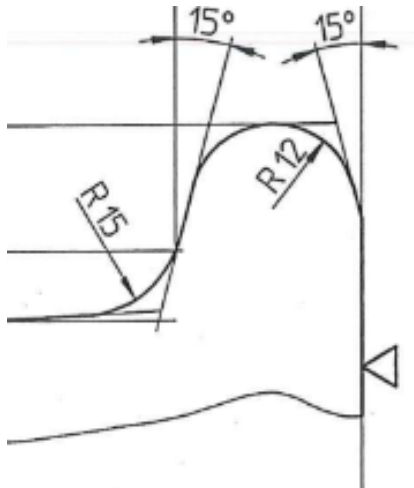


Abbildung 12 Spurkranz W98

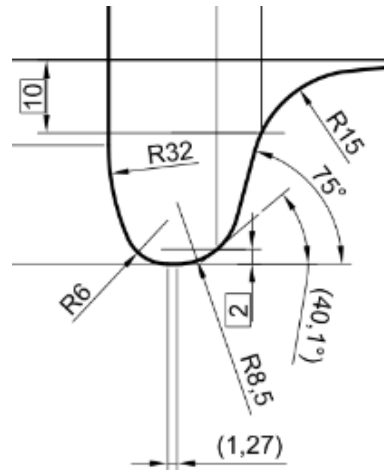


Abbildung 13 Spurkranz R.02.173

### Spurkranzschwächung W98

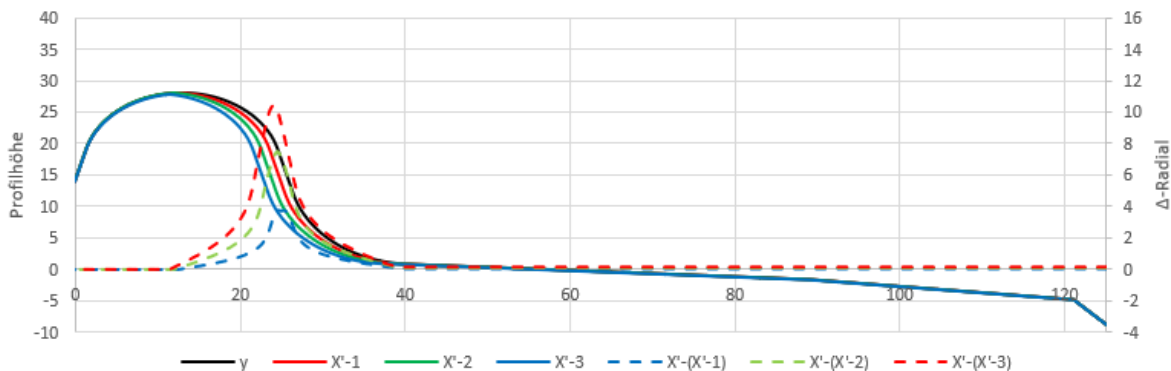


Abbildung 14 Einfluss Spurkranzschwächung W98

### Spurkranzschwächung R.02.173

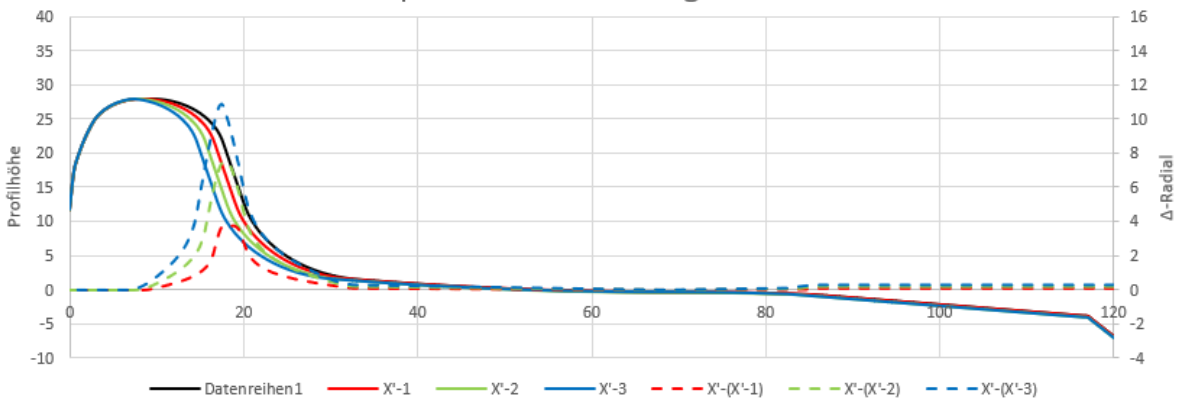


Abbildung 15 Einfluss Spurkranzschwächung R.02.173

In der RTE29500 wird keine untere Toleranz für die nominelle Spurkranzdicke vorgegeben. Jedoch kann diese anhand dem Verweis 4) in den Beilagen 4.2 und 6.2 beim Spurmass in der RTE29500 abgeleitet werden: «Bei Radsätzen deren Spurkränze im Betrieb dicker werden, darf eine untere Toleranz von bis zu -10mm angewendet werden». Das Spurmass ist wie folgt definiert:

$$S_m = A_R + 2 * S_d$$

Somit kann die Dicke des Spurkranzes um die halbe untere Toleranz des Spurmasses geschwächt werden. Dies bedingt aber das anderen Partien des Spurkranzes angepasst werden müssten damit ein minimales  $S_h$  eingehalten wird.

Dadurch dass die meisten Profile bei der Spurkranzhöhe mit der nominellen Höhe konstruiert sind, ist eine Spurkranzschwächung ohne Verletzung der unteren Toleranz der Spurkranzhöhe  $S_h$  nicht möglich. Zudem fehlt in der RTE29500 eine verbindliche obere Toleranz für den Neuzustand. Bei bestehenden Profilen sollte in der RTE29500 bei Spurkranzschwächung eine Anpassung der Spurkranzhöhe  $S_h$  überdacht werden. Wird diese Toleranz um lediglich 1mm vergrössert, sind anhand der oben genannten Beispiele Spurkranzschwächungen von mehreren mm möglich ohne Verletzung der Toleranz der Spurkranzhöhe im Neuzustand. Bei neuen Profilen ist diesem Umstand Rechnung zu tragen. Tritt bei der Erprobung neuer Profile Spurkranzwachstum auf, kann ohne weiter reichende Anpassungen die Spurkranzdicke  $S_d$  geschwächt werden.

#### 3.4.2 Möglichkeiten bei dominierendem Verschleiss am Spurkranz

Um den Verlust des Verschleissvorrats zu minimieren, könnte der Spurkranz beim Reprofilieren jeweils stufenweise geschwächt werden. Dadurch müsste bei jeder Reprofilierung weniger Raddurchmesser abgetragen werden. Hier müsste jedoch beachtet werden, um wieviel der Spurkranz jeweils geschwächt werden darf, damit dieser nicht über die Lebensdauer Gefahr läuft, unter das Grenzmass für die minimale Spurkranzdicke zu fallen. Wie sich eine Spurkranzschwächung auf das Fahrverhalten auswirkt, muss jeweils beobachtet und/oder anhand von Simulationsrechnungen ermittelt werden.

#### 3.4.3 Spurkranzschwächung Typ A-C RTE29500

Für die Radprofile Typ C macht eine Spurkranzschwächung keinen Sinn da hier die Toleranz mit +0/-2.5 zu klein ist, um ein entsprechendes Profil zu erstellen.

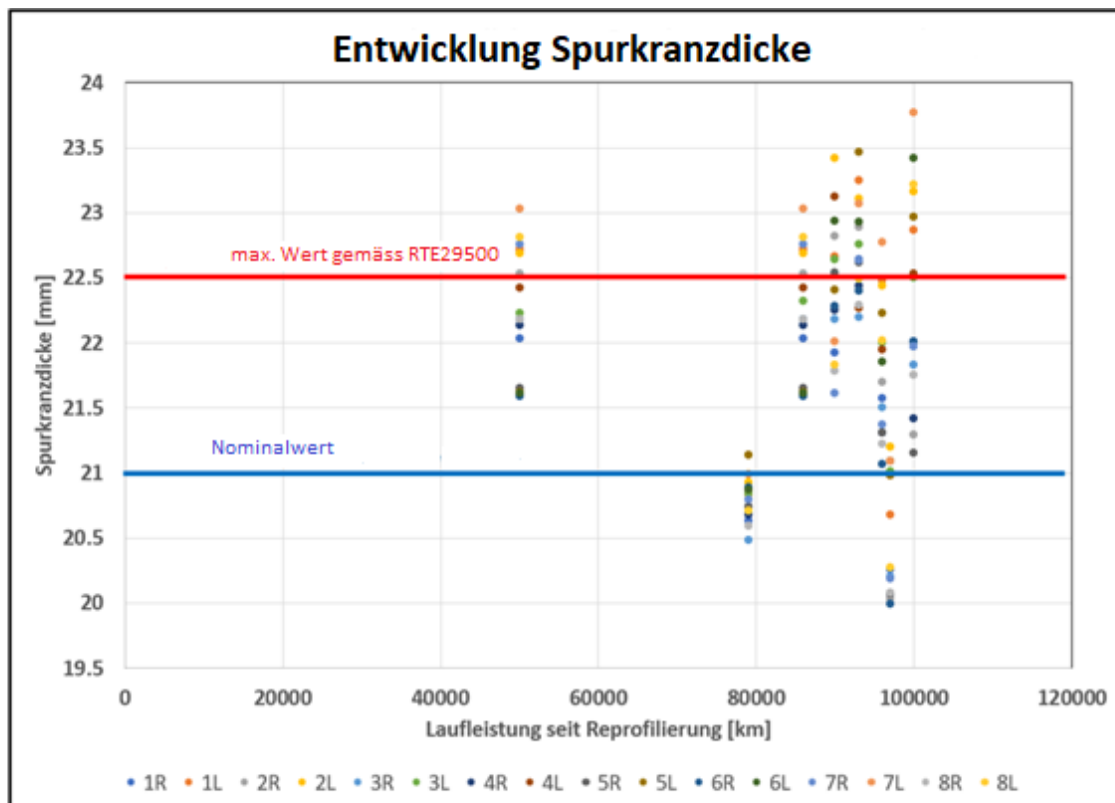
Für Typ A und B sind Spurkranzschwächungen infolge der zulässigen Toleranzen denkbar. Beim Typ B mit bereits dünneren Spurkränzen und entsprechend kleineren Kuppenradien führen Spurkranzschwächungen zu grösseren Überschneidungen, was zu einer grösseren Reduktion der Spurkranzhöhe  $S_h$  führt.



## 4 Kontrolle und Trendanalyse bei der Entwicklung der Spurkranzdicken

In der RTE41500 wird auf Kontrollintervalle mit dem folgenden Satz hingewiesen: «Die anderen Bahnunternehmen legen den Umfang und die Intervalle der Kontrollen an den Radsätzen auf Grund ihrer Erfahrungen fest». In einer nächsten Überarbeitung dieser RTE sollte das Vorgehen derart beschrieben werden, dass sichergestellt ist, dass die Betriebsgrenzmasse nie verletzt werden.

Wie das Beispiel (Abbildung 16) zeigt, werden zwar die Werte für die Spurkranzdicke erhoben jedoch deren entsprechenden oberen Grenzwerte aus der RTE29500 nicht berücksichtigt (siehe Tabelle 5).



	Mass [mm]	Neuzustand unbelastet		Im Betrieb unter Last	
		Obere Toleranz [mm]	Untere Toleranz [mm]	Obere Toleranz [mm]	Untere Toleranz [mm]
S <sub>4</sub> Spurkranzdicke	22.5	0		0	-7

Abbildung 16 Entwicklung Spurkranzdicke über der Laufleistung seit Reprofilierung

Die jeweiligen Prüf-Intervalle sollten anhand der Betriebserfahrungen der Bahnen definiert werden. Hinweise darüber wie sich die Intervalle bei veränderten Betriebsbedingungen (z.B. Streckenunterbruch, ...) verändern können, sind ebenso sinnvoll. Dies aufgrund der Erfahrung, dass nach Streckenunterbrüchen, Schleifen oder Ersatz von Schienen vor allem bogenaussen in engen Bögen öfters massiver Spurkranzverschleiss festgestellt worden ist.

## 5 Schlussfolgerungen

Je nach Fahrzeugbauart sowie dem diesem zugrundeliegenden Fahrwerksprinzip und dem Anwendungsbereich (Charakteristik der Trassierung, der notwendigen Traktion, usw.) wird es zu einem Ungleichgewicht zwischen dem Spurkranz- und Laufflächenverschleiss kommen. Für die Spurkranzdicke ergeben sich daraus drei mögliche Tendenzen im Betriebseinsatz. Dies sind abnehmende, gleichbleibende oder zunehmende Spurkranzdicken. Ideal ist es dann, wenn die Spurkranzdicke unabhängig von der Laufleistung und über eine grössere Laufleistung konstant bleibt. Die Auswirkungen und Minderungsmaßnahmen bei abnehmender Spurkranzdicke sind im Dokument [2] behandelt.

#### Die Zunahme der Spurkranzdicke hat

- vor allem bei höheren Fahrgeschwindigkeiten wegen der Verringerung des Spurspiels und der daraus resultierenden erhöhten Konizität Auswirkungen auf die Laufstabilität,
- im Bereich der Herzstücke von Weichen Auswirkungen auf das Leitmass und führt damit zu Beeinträchtigungen auf die Entgleisungssicherheit sowie auf die Schädigungen an den Herzstückspitzen,
- Auswirkungen auf das gemäss RTE 29500 empfohlene minimale Spiel von 10mm in den Radlenkerrillen von Weichen.

Nimmt die Spurkranzdicke im Betriebseinsatz zu, so empfiehlt sich die Anwendung von spurkranzgeschwächten Nominalprofilen. Im Gegensatz zur Normalspur (EN 13715 [4]) sind die Regeln für die Schwächung der Spurkränze bei der Meterspur noch nicht geregelt. Im vorstehenden Bericht wird die Anwendung von [4] und dessen Überprüfung auf die Konsequenzen bei der Meterspur empfohlen. Bevor jedoch eine Schwächung der Spurkranzdicken in Betracht gezogen wird, sollte eine Analyse zur entsprechenden Bahntrassierung und deren Auswirkungen auf die Fahrzeuge unter Berücksichtigung der Interaktion in den engen Bögen vorgenommen werden. In diesem Trassierungsbereich spielt der Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene eine wichtige Rolle. Je grösser der Schienenflankenverschleiss in den Bögen ist und je dünner die Spurkränze sind, umso grösser kann sich der Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene einstellen. Dieser hängt jedoch bei Fahrwerken mit starr geführten Radsätzen und je nach Koppelung zwischen Fahrzeugkasten und Fahrwerk sowie der Fahrdynamik von den Stellungsbildern der Fahrwerke im Spurkanal ab. Da diese erst in einer späteren Projektphase von P3 ermittelt werden, wurden im vorstehenden Bericht die beiden Extremzustände Spiessgangstellung und Sehnengangstellung betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Fahrwerke in der Regel zwischen diesen beiden Extremstellungen aufhalten werden.

Damit die Entwicklung/Anpassung neuer bestehender Radprofile klar geregelt wird ist es empfehlenswert einen Leitfaden, vergleichbar zur EN13715, zur Anpassung von Radprofilen zu erarbeiten. Dieser sollte anschliessend in die RTE29500 aufgenommen werden und die konstruktiven Grundsätze in Bezug auf die Gestaltung der einzelnen Rad-Profilpartien berücksichtigen.

Weiter wird empfohlen die Lücken in den Toleranzen der RTE29500 zu schliessen. Wie anhand dieses Berichtes erläutert, kann es bei Bedarf sinnvoll sein, die Spurkranzhöhe grösser als nominell vorgesehen zu gestalten, damit eine Spurkranzschwächung ohne Verletzung der nach R-RTE29500 vorgegebenen nominellen Spurkranzhöhe vorgenommen werden kann (siehe zum Beispiel Tabelle 4)

## Schlussfolgerungen

		Mass mm	Neuzustand unbelastet		Im Betrieb unter Last	
			Obere To- leranz mm	Untere To- leranz mm	Obere To- leranz mm	Untere To- leranz mm
S	Abstand Messkreisebene	unverändert				
S <sub>m</sub>	Spurmass	989	1	<b>-10<sup>4)</sup></b>	1 <sup>3)</sup>	-14 <sup>3)</sup>
A <sub>R</sub>	Radrückenabstand	unverändert				
L	Leitmass <sup>1)</sup>					
b	Radbreite					
γ	Spurkranzflankenwinkel					
S <sub>d</sub>	Spurkranzdicke	27	0	<b>-5</b>	0	-7
S <sub>h</sub>	Spurkranzhöhe	28	<b>2</b>	0	10	0

1) ....

2) ....

3) Masse gemessen ungefähr auf Schienenhöhe

4) Bei Radsätzen deren Spurkränze im Betrieb dicker werden, darf eine untere Toleranz von bis -10mm angewendet werden

5) .....

Tabelle 4 Empfehlung Anpassung RTE29500 Radsatz Typ A

		Mass mm	Neuzustand unbelastet		Im Betrieb unter Last	
			Obere To- leranz mm	Untere To- leranz mm	Obere To- leranz mm	Untere To- leranz mm
S	Abstand Messkreisebene	unverändert				
S <sub>m</sub>	Spurmass	989	1	<b>-10<sup>4)</sup></b>	1 <sup>3)</sup>	-14 <sup>3)</sup>
A <sub>R</sub>	Radrückenabstand	unverändert				
L	Leitmass <sup>1)</sup>					
b	Radbreite					
γ	Spurkranzflankenwinkel					
S <sub>d</sub>	Spurkranzdicke	22.5	0	<b>-5</b>	0	-7
S <sub>h</sub>	Spurkranzhöhe	28	<b>2</b>	0	10	0

1) ....

2) ....

3) Masse gemessen ungefähr auf Schienenhöhe

4) Bei Radsätzen deren Spurkränze im Betrieb dicker werden, darf eine untere Toleranz von bis -10mm angewendet werden

5) .....

Tabelle 5 Empfehlung Anpassung RTE29500 Radsatz Typ B

Die untere Toleranz der Spurkranzdicke S<sub>d</sub> wird entsprechend des Index <sup>4)</sup> in Tabelle 4 und Tabelle 5 beim Spurmass S<sub>m</sub> abgeleitet. Daraus ergibt sich bei der Spurkranzdicke eine untere Toleranz von -5 mm im Neuzustand. Damit verbleiben im Betrieb 2mm Reserve zur unteren Toleranz der Spurkranzdicke. Für die Festlegung der Spurkranzdicke bei Neuprofilen muss die Abhängigkeit zwischen qR-Mass

und  $S_d$  berücksichtigt werden damit bei Spurkranzschwächung die Grenzwerte weiterhin eingehalten werden können. Bei max. Spurkranzschwächung kann es dazu kommen, dass die minimale Spurkranzdicke vor dem minimalen  $q_R$ -Mass erreicht wird. Es ist deshalb darauf zu achten, dass beim Unterschreiten eines der Grenzwerte die Fahrzeuge stillgelegt werden.

Die obere Toleranz der Spurkranzhöhe wurde im Hinblick auf die Spurkranzschwächung mit +2mm gewählt. Dadurch stehen genügend Reserven für Spurkranzschwächungen zur Verfügung, da gegenüber dem Betriebsgrenzmass noch 8mm radialer Verschleissvorrat bis zur Reprofilierung gewährleistet sind. Die Erfahrung aus der Praxis zeigt, dass dieser Verschleissvorrat in der Regel kaum ausgenutzt wird, da Reprofilierungen vor Erreichen der maximalen Spurkranzhöhen aus anderen Gründen erforderlich sind.

Bei der Konstruktion spurkranzgeschwächter Radprofile muss dem Spurkranzkopfradius besondere Beachtung geschenkt werden. Im speziellen dann, wenn der Spurkranz im Betrieb infolge Spurkranzverschleiss stufenweise geschwächt werden soll (Sparreprofilierung). Durch die Überschneidung der beiden Radien wandert auch der obere Definitionspunkt des  $q_R$ -Masses weiter am Radius nach unten und führt in der Folge zu tendenziell kleineren Ausgangs- $q_R$ -Massen. Die nominelle Spurkranzdicke  $S_d$  ist entsprechend dem aus dem Erfahrungsrückfluss vorherrschenden Verschleissbild zu wählen.

## 6 Verzeichnisse

### 6.1 Referenzen

- [1] T. Kiessner und U.Ritscher, Diplomarbeit: Untersuchung zur Übertragung der Ergebnisse aus ORE C 70 auf die Meterspurbahn der Schweiz, 24.2.2006
- [2] Railplus Kurzfristige Lösungen bei Problemen mit erhöhtem Spurkranzverschleiss, RAILPlusSF-00022
- [3] RAILplus, Profils des roues et des rails, RAILPlusSF-00017\_LO 2.2.1
- [4] EN 13715, Bahnanwendungen –Radsätze und Drehgestelle –Räder – Radprofile

### 6.2 Abbildungen

Abbildung 1: Unterschiede bei der Reprofilierung in Abhängigkeit des vorherrschenden Verschleisses an Spurkranz oder Lauffläche .....	6
Abbildung 2: Fahrwerksstellungen im Spurkanal.....	7
Abbildung 3 Vorverlagerung bei Anlaufwinkel 2.78°->Spiessgangstellung .....	9
Abbildung 4 Vorverlagerung bei Anlaufwinkel 0.49° ->äussere Sehnengangstellung .....	9
Abbildung 5 Einschränkung der Querverschiebung.....	10
Abbildung 6 Berührkontur bei 70° Spurkranzwinkel und 2°Anlaufwinkel.....	11
Abbildung 7 Berührkontur bei 75° Spurkranzwinkel und 2° Anlaufwinkel.....	11
Abbildung 8 Spurkranzdickenwachstum.....	12
Abbildung 9 Spurkranzverschleiss .....	13
Abbildung 10 Zusammenspiel Radsatz/Weiche im Herzstückbereich .....	13
Abbildung 11 Zusammenhang Spurkranzhöhe/-dicke .....	14
Abbildung 12 Spurkranz W98.....	15
Abbildung 13 Spurkranz R.02.173 .....	15
Abbildung 14 Einfluss Spurkranzschwächung W98.....	15
Abbildung 15 Einfluss Spurkranzschwächung R.02.173.....	15
Abbildung 16 Entwicklung Spurkranzdicke über der Laufleistung seit Reprofilierung .....	17

### 6.3 Tabellen

Tabelle 1: Berechnung der maximalen und minimalen Anlaufwinkel in Abhängigkeit des Stellungswinkels des Radsatzes .....	8
Tabelle 2 $\alpha_{max}$ in Abhängigkeit des Kurvenradius und des Spurspiels .....	10
Tabelle 3 Einschränkung Querverschiebung in Abhängigkeit des Spurspiels und des Kurvenradius bei $\alpha_{max}$ .....	10
Tabelle 4 Empfehlung Anpassung RTE29500 Radsatz Typ A.....	19
Tabelle 5 Empfehlung Anpassung RTE29500 Radsatz Typ B.....	19

## **7 Anhang**

keine