

Lieferobjekt 1.1.3

Auswirkungen unterschiedlicher Raddurchmesser bei der Interaktion Radsatz bzw. Radprofil im Bereich der Herzstücke von doppelten Bogenkreuzungsweichen (DKW)

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug – Fahrweg Meterspur

Projekt: 3 Grundlagen Rad / Schiene

Modul: 1, Geometrische Interaktion

Technischer Bericht



ID: RAILPlusSF-5

Datum / Status: 18.01.2023 / Freigegeben

Seitenanzahl 19

Verfasser: R. Müller / Gleislauftechnikmüller
A. Bianchi / RhB

Geprüft: R. Müller / Gleislauftechnikmüller

Freigegeben: V. Walz / Zentralbahn

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	03.10.2022	A. Bianchi	Erster Entwurf
0.2	20.10.2022	A. Bianchi	Bereinigter Entwurf.
0.3	18.01.2023	R. Müller A. Bianchi	Bericht redigiert und finalisiert (Neue Vorlage)
1.0	17.03.2023	V. Walz	Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter

Freigabe durch die Systemführerschaft

Version	Verantwortlich	Datum
1.0	Technical Board	04.04.2023

Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
a	Kreuzungswinkel
AB – EBV	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung
b _{Hsp}	Breite der Herzstückspitze
c	Spur- und Rillenweite
D	Raddurchmesser
DB	Deutsche Bahn
DKW	Doppelkreuzungsweiche
EN	Europäische Norm
ERRI	European Rail Research Institute
h _R	Überhöhung des Radlenkers
K _K	Berührungskreis am Knickpunkt
K _V	Berührungskreis an der Herzstückspitze
l _f	führungsloser Laufweg
ORE	Office for Research and Experiments (Forschungs- und Versuchsamt)
qR	Spurkranzflankenmass
R	Bogenhalbmesser
RTE	Regelwerk Technik Eisenbahn
S	Spurweite die Rillenweiten W
SB	Länge der Herzstücklücke
S _h	Spurkranzhöhe
TG	Spurweite der Kreuzung
TSI	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität
ü	Überhöhung
W	Rillenweiten
x ₁	führungslose Länge
y	Absenkung y der Herzstückspitze

α	Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene
δ	Kreuzungsneigung
η_r	Quergleiten des Radsatzes
λ	Seitliche Verschiebung des Radsatzes

Management Summary

Bei der Normalspur bestehen für die entgleisungssichere Befahrbarkeit von doppelten Bogenkreuzungsweichen einschränkende Vorgaben hinsichtlich der minimal zulässigen Spurkranzhöhen und Querabmessungen von Radsätzen. Beim Befahren der doppelten Herzstücke stellt sich im Gegensatz zum Befahren von einfachen Herzstücken eine Lücke ein, in welcher der Radsatz nicht geführt ist (Abbildung 1). Befindet sich das doppelte Herzstück in einem Bogen, so besteht die Gefahr, dass der Spurkranz des bogenäusseren Rades an der Herzstückspitze aufsteigt und in der Folge eine Entgleisung des Fahrzeugs eingeleitet wird. Diese Lücke im Herzstückbereich ist umso grösser, je kleiner der Raddurchmesser ist. Aus diesem Grund sind bei der Normalspur bei Radsätzen mit kleineren Raddurchmessern Einschränkungen bei den folgenden Abmessungen vorgeschrieben:

- grössere minimale Spurkranzhöhe ab $D < 760\text{mm}$;
- grössere minimale Spurkranzdicke ab $D < 840\text{mm}$;
- grösserer minimaler Abstand zwischen den Radinnenflächen ab $D < 840\text{mm}$
- grösseres minimales Spurmass ab $D < 840\text{mm}$.

Diese Vorschriften gingen aus Forschungsarbeiten des ORE-Sachverständigenausschusses ORE C9 hervor und wird deshalb von den Lauftechnikern auch als Entgleisungssicherheit im System ORE C9 bezeichnet.

Mit Ausnahme der Lokomotiven befinden sich beim Rollmaterial der Meterspurbahnen die Durchmesser der Räder ausschliesslich im oben für die Normalspurbahnen aufgeführten einschränkenden Bereich der Interaktion Fahrzeug/Fahrweg. Da bei den Meterspurbahnen diesbezüglich in den entsprechenden Regelwerken (zum Beispiel R RTE 29500) keine Vorgaben bestehen, war es erforderlich abzuklären, ob das System ORE C9 bei den Meterspurbahnen zu berücksichtigen ist. Eine Umfrage bei den Meterspurbahnen hat ergeben, dass in deren Netzen, die im System ORE C9 beschriebenen Weichenkonfigurationen nicht vorkommen. Allerdings wird deren Anwendung nicht explizit ausgeschlossen. Sollten deshalb in Zukunft derartige Weichenkonfigurationen zum Einsatz gelangen, sollten Untersuchungen in Analogie zum ORE C9 unter Berücksichtigung von entsprechenden Ergänzungen in Normen und Merkblättern durchgeführt werden.

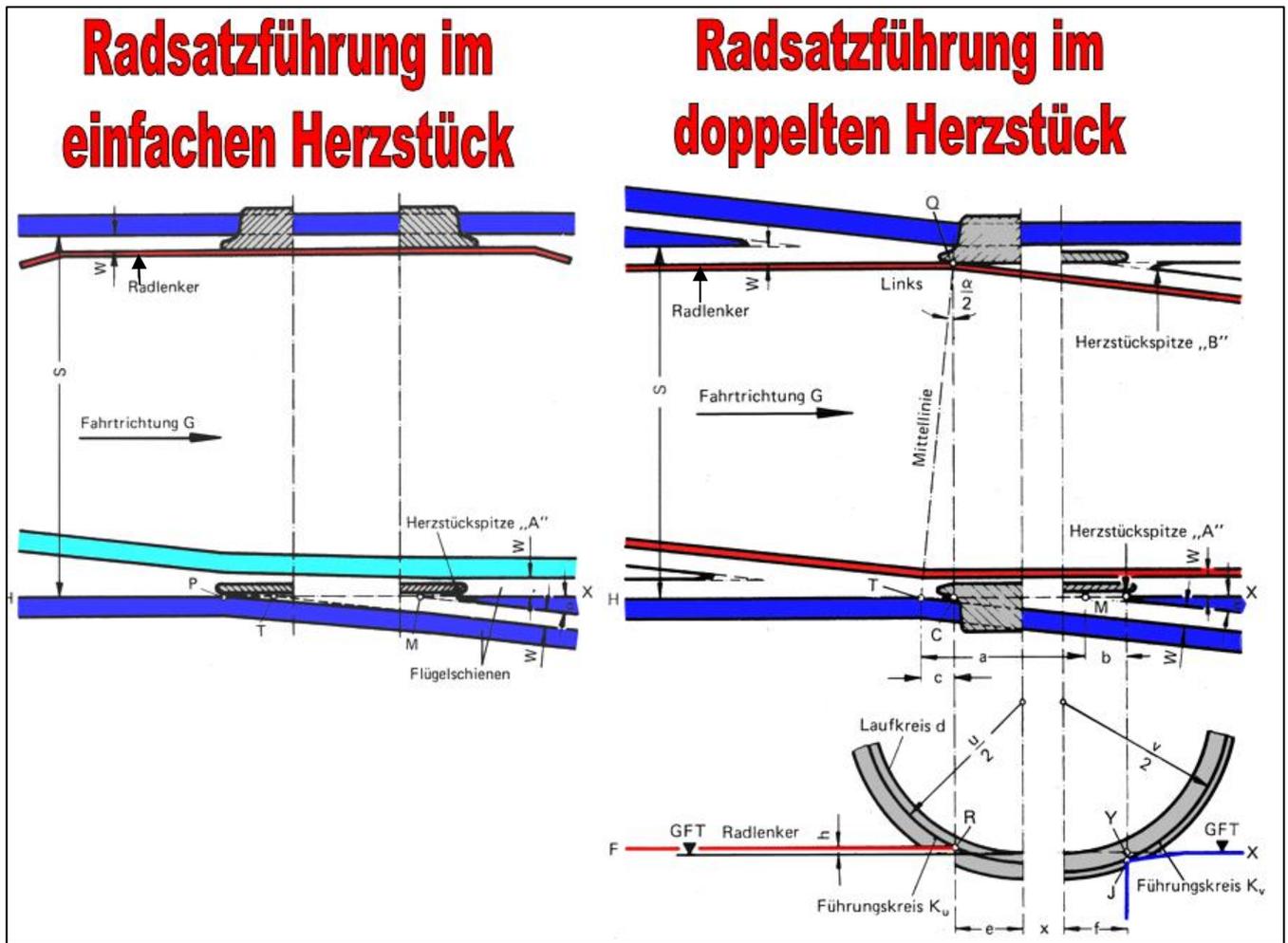


Abbildung 1 Interaktion Radsatz-Herzstück bei Einfach- und Doppelkreuzungsweiche

Inhalt

1	Problemstellungen bei verbogenen Doppelkreuzungsweichen.....	8
2	Spurführung im Herzstückbereich.....	10
3	Beurteilungsverfahren	13
4	Abklärung ob bei den Meterspurbahnen Bogenkreuzungen oder Bogenkreuzungsweichen eingesetzt sind	14
5	Situation bei den interoperablen Normalspurbahnen.....	15
5.1	Abmessungen der Radprofile und Querabmessungen Radsätze	15
5.2	EN 14363	15
5.2.1	<i>Prüfbedingungen</i>	15
5.2.2	<i>Verfahren</i>	15
5.3	UIC-Merkblatt 510-2	16
5.4	EN 13232-3.....	16
6	Ergebnisse.....	16
7	Verzeichnisse	18
7.1	Referenzen	18
7.2	Abbildungen	18

1 Problemstellungen bei verbogenen Doppelkreuzungsweichen

Beim Befahren einer Kreuzung oder Kreuzungsweiche durch einen Radsatz ist die Führung der Räder, die im durchgehenden Gleis normalerweise durch den Anlauf (Anlaufwinkel α) der Spurkränze an den bogenäusseren Schienenflanken gewährleistet ist, im Bereich der Spurrillen unterbrochen (siehe Abbildung 2). Die Gefahr einer durch die Radsatzquerkräfte ΣY verursachten Ablenkung des Radsatzes und damit einer seitlichen Verschiebung λ desselben in der Herzstücklinie nach dem Verlust der Radrückenführung wird umso grösser sein,

- je kleiner die Kreuzungsneigung δ und in der Folge, je länger die Herzstücklücke SB ist,
- je kleiner der Raddurchmesser und als Folge der Radsatzquerkräfte ΣY der Radsatz gegenüber dem Gleis in der Querrichtung um den Betrag λ verschoben werden kann.

Als führungslose Länge x_1 wird die Entfernung bezeichnet, die vom Radsatz zwischen dem Zeitpunkt, in dem das bogeninnere Rad den Kontakt mit dem Knickpunkt S des überhöhten Radlenkers (Leitkante) verliert, und dem Zeitpunkt, in dem das bogenäussere Rad an der Fahrkante der Spitze A anläuft, zurückgelegt wird.

Die Lage eines Rades bei der Annäherung an eine Herzstückspitze ist verschieden je nachdem,

- ob das auf die Fahrkante der Herzstückspitze A zulaufende bogenäussere Rad oder
- ob das auf die Leitkante der Herzstückspitze B zulaufende bogeninnere Rad

betrachtet wird.

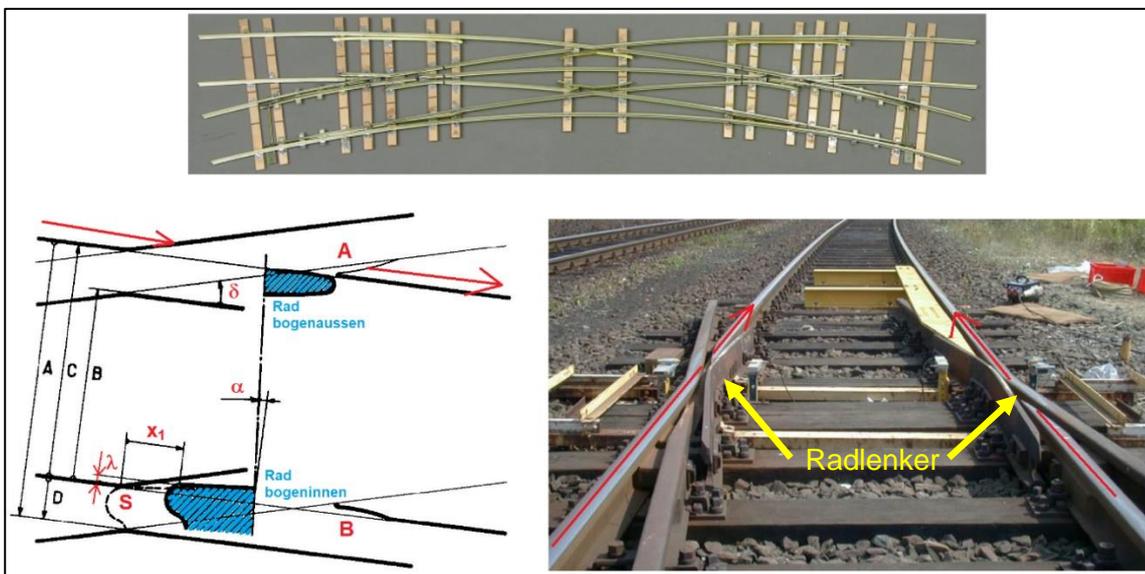


Abbildung 2 Lage und Bewegung des Radsatzes im Bereich des doppelten Herzstückes

Wenn man eine untere Grenze von δ als gegeben voraussetzt, hängt der zulässige Durchmesser des Rades bei gegebener Geometrie des Radsatzes und der Kreuzung von den zugrunde gelegten Annahmen für die Parameter Anlaufwinkel des Radsatzes α und von der Querkraft bedingten Querverschiebung des Radsatzes λ ab. Der Anlaufwinkel α des Radsatzes hängt unter anderem von den Fahrzeug- bzw. Fahrwerkparametern und dem Bogenhalbmesser R ab.

Die Abbildung 2 zeigt auf der rechten Seite das Beispiel einer Bogenkreuzung (DB-Systemtechnik, Minden), wie sie gemäss EN 14363 [1] für die Beurteilung des Verhaltens von Fahrzeugen mit kleinen Rädern in Bogenkreuzungen zur Anwendung gelangt. Diese Bogenweiche verfügt über die folgenden Trassierungsmerkmale:

- Bogenradius $R = 450\text{m}$
- Überhöhung $u = 0\text{mm}$
- Neigungsverhältnis $a = 1:9$
- Spurweite der Kreuzung $TG = 1435 +4, -2$

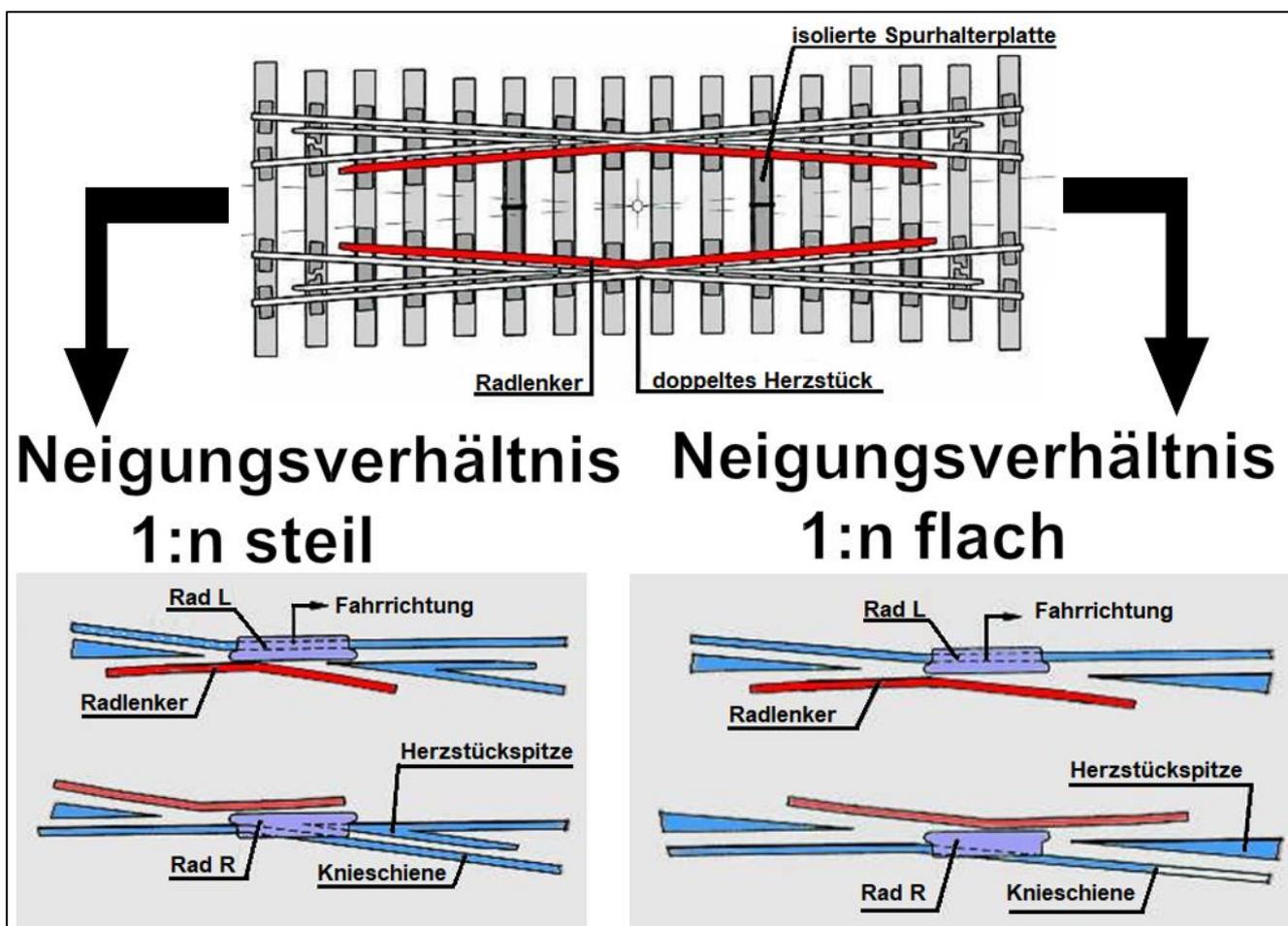


Abbildung 3 Lücke im doppelten Herzstück in Abhängigkeit des Neigungsverhältnisses

2 Spurführung im Herzstückbereich

Die Laufsicherheit und Laufruhe der Fahrzeuge in den Weichen wird neben der Interaktion Spurkranz-Weichenzunge im Zungenbereich von den Fahrkantenunterbrechungen in den Herzstücken (Herzstücklücken) beeinflusst. Es werden ein- und zweiseitige Fahrkantenunterbrechungen unterschieden. Beim Durchfahren einer Herzstücklücke wird die sonst durchgehende Spurkranzführung des Radsatzes (Stirn- und Rückenflächenführung der Räder) in diesem Bereich unterbrochen.

Jede Fahrkantenunterbrechung bedingt deshalb in der Regel die Anordnung eines wirksamen Radlenkers auf der jeweils gegenüberliegenden Seite zur horizontalen Führung des Radsatzes über die Herzstücklücke. Dadurch soll beim «spitzen» Befahren des Herzstücks ein Anlaufen des Rades an die Herzstückspitze, eine unzulässige Profilüberschneidung der Herzstückspitze oder gar ein Abirren des Radsatzes in die falsche Spurrille mit nachfolgender Entgleisung vermieden werden.

Beim Überrollen der Herzstücklücke eines flachen Herzstückes ohne Radlenkerüberhöhung sowie der beiden sich gegenüberliegenden Herzstücklücken der beiden doppelten Herzstücke (bei kleinen Herzstückstückwinkeln) entsteht im Allgemeinen ein **führungsloser Laufweg** l_f in Abhängigkeit von Raddurchmesser und Radprofil.

Der **führungslose Laufweg** l_f , bei zweiseitiger Fahrkantenunterbrechung in den doppelten Herzstücken ist die Wegstrecke, die ein Radsatz vom Verlassen des Radlenkerstücks des einen doppelten Herzstücks bis zum Erreichen des anderen gegenüberliegenden ohne seitliche Führung zurücklegt ($l_f > 0$). Die Abbildung 4 zeigt in schematischer Darstellung den führungslosen Laufweg l_f bei zweiseitiger Fahrkantenunterbrechung in doppelten Herzstücken. Ein von links nach rechts rollender Radsatz, dessen linkes Rad mit seiner Rückenfläche an dem um das Mass h_R überhöhten Radlenker (überhöht wegen der damit verbundenen Verkürzung des führungslosen Laufwegs) geführt wird, verliert am Punkt Q (Knickpunkt des Radlenkers) diese Führung (Berührungskreis K_K des linken Rades). Das rechte Rad hat bereits vorher am Punkt T der Flügelschiene seine Führung verloren. Dem Punkt Q liegt rechtwinklig zur Gleisachse gegenüber auf der verlängerten Fahrkante A-T der rechten Schiene der Punkt C. Der Radsatz läuft nun so lange führungslos, bis der Spurkranz des rechten Rades die Herzstückspitze am Punkt H erreicht hat (Berührungskreis K_V).

Der führungslose Laufweg ist bei einer bestimmten Herzstückneigung (1:n) abhängig von:

- der Länge der Herzstücklücke $a+b$,
- der Grösse der Spur- und Rillenweite c ,
- der Überhöhung des Radlenkers h_R ,
- der Absenkung y und Breite der Herzstückspitze b_{Hsp} ,
- der Länge der Radüberbrückung $e+f$ bzw. von den Durchmessern der Berührungskreise K_K und K_V des anlaufenden Radsatzes.

Der führungslose Laufweg l_f wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$l_f = CH - BY.$$

Durch den Verschleiss verändern sich beim Gleis die Spurweiten S , die Rillenweiten W und die Breite der Herzstückspitze b_{Hsp} . In der Regel bleibt CH jedoch annähernd konstant. Der Verschleiss der Räder führt zur Veränderung des Raddurchmessers D , der Spurkranzhöhe S_n und der Berührungskreise K_K und K_V und damit zu einem unterschiedlichen BY bzw. führungslosen Laufweg l_f .

Ungünstig für die sichere Fahrzeugführung innerhalb des führungslosen Laufwegs sind Schrägwinkel zwischen Radsatz und Radsatz-Längsachse sowie Fahrwerks-Längsachse (sie vergrössern den Anlaufwinkel Rad/Schiene) sowie Querkräfte, wie sie zum Beispiel bei der Fahrt durch die Bogenkreuzungen auftreten. In kritischen Fällen können die Herzstückspitzen angefahren werden (Profilüberschneidung), die Räder an der Spitze aufsteigen oder die Radsätze in die falsche Rille abirren. Da bisher aufgrund von Versuchen und von praktischen Erfahrungen keine betriebsgefährdenden Anläufe oder Entgleisungen bekannt geworden sind, ist die Grösse l_f , die sich aus den festgelegten Abmessungen

von Weiche und Radsatz berechnen lässt und durch Versuche nachgewiesen sind, als zulässig anzusehen. Für Radsätze mit kleinen Rädern sind deshalb Massnahmen zu treffen, damit die bisherige Grösse l_f für Räder mit Durchmessern $D \geq 840\text{mm}$ nicht überschritten wird.

Nach [2] und [3] sollte für die Lösung des Problems von drei Hypothesen ausgegangen werden:

1. Der Radsatz bewegt sich auf einer geradlinigen Bahn parallel zur Fahrkante (Anlaufwinkel Rad/Schiene $\alpha = 0$).
2. Der Radsatz bewegt sich auf einer Bahn mit $\alpha = \text{konstant}$ oder $\alpha = f(t)$ rein rollend.
3. Der Radsatz bewegt sich auf einer Bahn mit einem Anlaufwinkel $\alpha = f(t)$ unter einem Quergleiten von $\eta_r = f(t)$.

Während die 1. Hypothese eine rein theoretische Bedeutung hat (gerades Gleis ohne Radsatzquerbewegung), kommen die Hypothesen 2 und 3 den praktischen Gegebenheiten im Betriebsgleis am nächsten. Nähere Ausführungen dazu finden sich in [2] und [3].

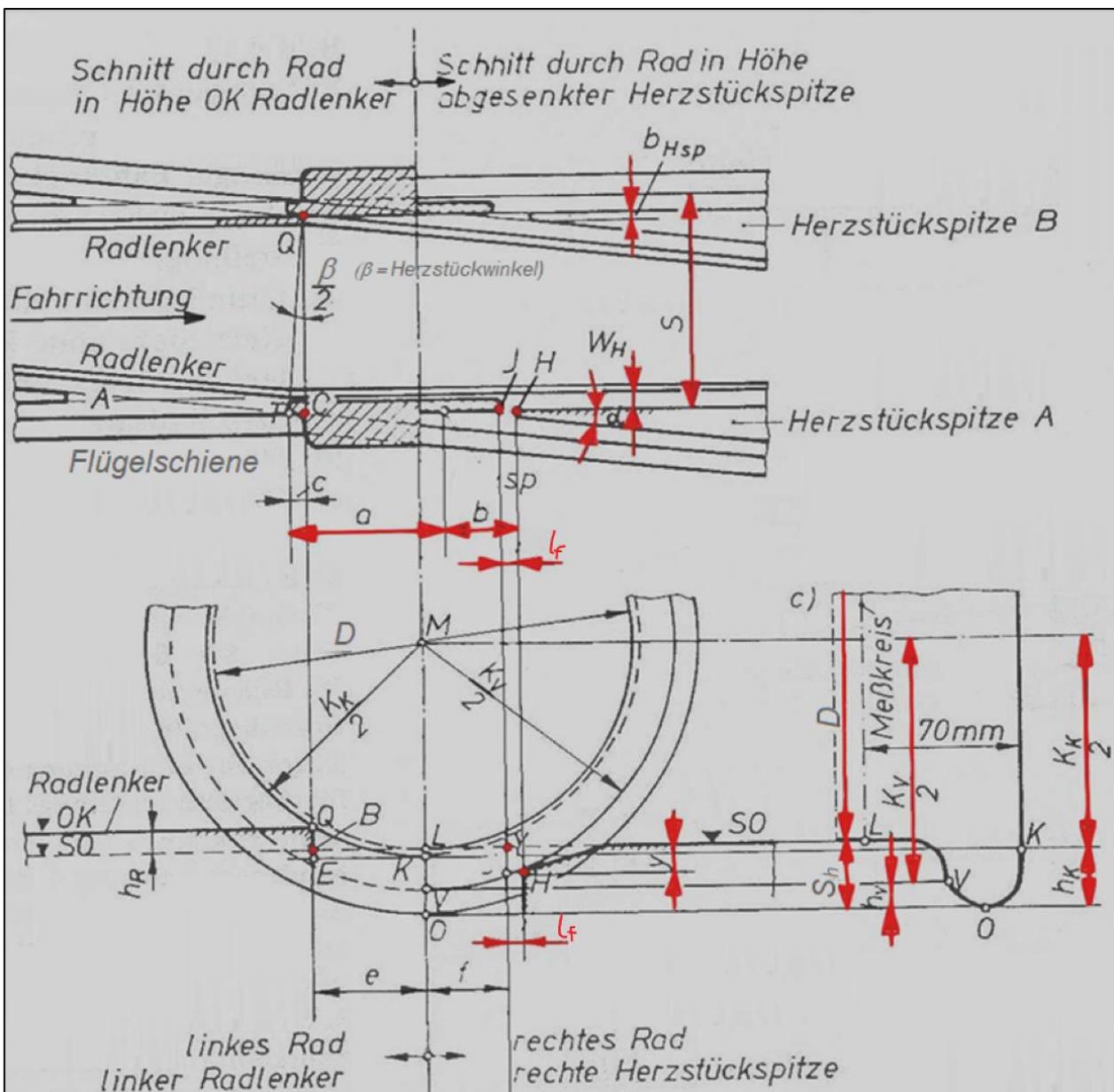


Abbildung 4 Führungsloser Laufweg l_f bei zweiseitiger Fahrbahnunterbrechung in doppelten Herzstücken

Je nach Grösse des sich einstellenden Anlaufwinkels Rad-Schiene kann das jeweilige Rad an die Flanke der Herzstückspitze anlaufen (Abbildung 4) oder es kann auf die Herzstückspitze auffahren, was zum Aufsteigen an der Herzstückspitze führt. Das kann zu Schäden an der Herzstückspitze und im ungünstigsten Falle zum Entgleisen des Radsatzes führen.

Bei Kreuzungsweichen, die in der Grundform verlegt sind, besteht im Gegensatz zu solchen die im Bogen liegen, besteht keine Entgleisungsgefahr. Der Grund dafür ist die fehlende Querkraft, die im Bogen einen Einfluss auf den Anlaufwinkel hat. Dies bedeutet, dass der Radsatz in die vom Radlenker vorgegebene Richtung weiterrollt.

3 Beurteilungsverfahren

Bei den interoperablen Normalspurbahnen entstand bei den Güterwagen in den 1960-iger Jahren aus verschiedenen Gründen der Bedarf nach Fahrzeugen mit einem Raddurchmesser unter 840mm. Zu einem späteren Zeitpunkt erforderte der Bau von Fahrzeugen mit niedrigerer Fussbodenhöhen ebenfalls die Verwendung von Rädern mit kleineren Raddurchmessern. Die UIC hat deshalb 1960 beschlossen zu untersuchen, ob es möglich ist, Räder mit einem Durchmesser $< 840\text{mm}$ und $> 630\text{mm}$ im internationalen Verkehr zu verwenden. Die UIC hat den ORE-Sachverständigenausschuss C9 mit diesen Untersuchungen beauftragt. Die Ergebnisse zum Verhalten kleiner Räder beim Überfahren von doppelten Herzstücken von Kreuzungen und Kreuzungsweichen sind in den Berichten ORE C9 R7 [2] und ORE C9 R8 [3] aufgeführt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden 1969 in der ersten Ausgabe des UIC- Merkblattes 510-2 [4] der Eisenbahnwelt zugänglich gemacht. In der aktuellen Ausgabe dieses Merkblattes sind in der Anlage D die Messstellen dieser Herzstücke und in der Anlage I Erläuterungen zu den Untersuchungen zum Befahren von Herzstücklücken aufgeführt. Die EN 14363 [1] beschreibt dazu in der Anlage E die Beurteilung des Verhaltens von Fahrzeugen mit kleinen Rädern in Bogenkreuzungen.

5 Situation bei den interoperablen Normalspurbahnen

5.1 Abmessungen der Radprofile und Querabmessungen Radsätze

Für die interoperablen Normalspurfahrzeuge sind die Betriebsgrenzmasse für die geometrischen Abmessungen der Radsätze in Abhängigkeit der Raddurchmesser für die verschiedenen Fahrzeugkategorien in den TSI [7] für Güterwagen und [8] für Lokomotiven und Personenwagen vorgeschrieben. Diese Abmessungen sind zudem in [9] in einer Tabelle für die Radsatzinstandhaltung zusammengefasst.

5.2 EN 14363

Die EN 14363 befasst sich im Anhang E mit der Beurteilung des Verhaltens von Fahrzeugen mit kleinen Rädern in Bogenkreuzungen. Die in diesem Anhang aufgeführten Untersuchungen müssen nur durchgeführt werden für Fahrzeuge:

- mit einem kleinsten zulässigen Raddurchmesser von $D < 840$ mm;
- die für den Betrieb in konkreten Schienennetzen vorgesehen sind, die stumpfwinklige Bogenkreuzungen enthalten.

Es sind zwei unterschiedliche Prüfverfahren und die dazu gehörenden Beurteilungskriterien aufgeführt.

5.2.1 Prüfbedingungen

- Bogenkreuzung R 450m, 1:9 mit festgelegter Geometrie.
- Gleisbogen mit einem Nennradius von 450 m und einer Überhöhung von 0mm
- maximalen Betriebsgeschwindigkeit des Fahrzeugs bis zu höchstens 60 km/h
- minimale Antriebskraft, um eine konstante Geschwindigkeit zu gewährleisten
- leeres Fahrzeug

5.2.2 Verfahren

Die EN 14363 schlägt zwei unterschiedliche Verfahren vor.

Bei dem ersten Verfahren sind die Beurteilungskriterien der Anlaufwinkel α und entweder die Radsatzlagerquerkräfte oder die Summe der Querkräfte im Vollbogen. Bei diesem Verfahren ist es nicht erforderlich, die Prüfung auf einer Bogenkreuzung durchzuführen, ein Spurspiel zwischen 10mm und 20 mm im Vollbogen muss aber immer gewährleistet sein.

Beim zweiten Verfahren sind die Beurteilungskriterien der Anlaufwinkel α und die Untersuchung des Aufpralls am Herzstück unter Verwendung von Farbe zur Erkennung von Kontakts Spuren am Herzstück. In diesem Fall ist es erforderlich, die Prüfung an einer Bogenkreuzung durchzuführen (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6 Beispiel einer Bogenkreuzung im Prüfgleis bei der DB Systemtechnik, Minden

5.3 UIC-Merkblatt 510-2

Das UIC-Merkblatt 510-2 enthält die Bedingungen und beschreibt die Grundlagen für die Verwendung von Rädern verschiedener Durchmesser in Laufwerken von in der Normalspur interoperabler Wagen unterschiedlicher Bauart. Dabei ergeben sich bei den Rädern mit Raddurchmessern $R < 840\text{mm}$ gegenüber denjenigen mit den grösseren Durchmessern Einschränkungen bei den Abmessungen der Spurkränze und bei den Querabmessungen der Radsätze. Diese resultieren ausnahmslos aus der Befahrbarkeit von gebogenen Doppelkreuzungsweichen.

5.4 EN 13232-3

Die EN 13232-3 [10] befasst sich im Teil 3 mit den Anforderungen an das Zusammenspiel zwischen Rad und Schiene bezüglich der Radüberlauf und Radlastübergang. In dieser Norm wird das Thema des führunglosen Bereichs nur oberflächlich behandelt. Die Vorschrift erlaubt eine ungeführte Länge im Herzstückbereich, die zwischen Lieferanten und Verbraucher vereinbart werden muss. Daher sind keine Grenzwerte oder Einschränkungen festgelegt, die ein sicheres Befahren des Radsatzes in Bogenkreuzungsweichen gewährleisten.

Aus diesem Grund verweist die EN 13232-3 auf das UIC-Merkblatt 510-2.

6 Ergebnisse

Aus den durchgeführten Analysen und den Abklärungen bei den Meterspurbahnen Schweiz ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Auf den Strecken der Meterspurbahnen werden keine verbogenen Gleisdurchschneidungen oder Kreuzungsweichen verwendet. Folglich gibt es keine verbogenen doppelte Herzstücke.
- Aus diesem Grund ergeben sich derzeit keine Einschränkungen hinsichtlich der vom Raddurchmesser abhängigen Abmessungen am Spurkranz und bei den Querabmessungen der Radsätze. Zur Entgleisungssicherheit beim Befahren des Herzstückbereiches können deshalb keine zusätzlichen Vorgaben gemacht werden. Deshalb ergibt sich daraus kein Änderungsbedarf in der R RTE 29500 [11].

-
- Die Verwendung von Bogenkreuzungsweichen wird in der R RTE 22546 [6] sehr eingeschränkt zugelassen. Dasselbe gilt gemäss AB – EBV [5] für die Verwendung von Bogenweichen und Bogenkreuzungsweichen. Zusätzlich ist in den Anhängen des R RTE 22546 noch pro Weichentyp die Verbiegbarkeitsgrenze angegeben. In der Praxis ist es so, dass einfache Weichen verbogen werden, während Doppelkreuzungsweichen und Gleisdurchschneidungen in der Normalspur selten und in der Meterspur fast nie verbogen werden. Diesen Grundsatz sollte man bei der Projektierung von neuen Anlagen oder Erneuerungen weiterhin pflegen.
 - Aufgrund der Untersuchungen in diesem Projekt wird eine Einführung von Einschränkungen der Querabmessung von Radsätzen und von Anpassungen der Abmessungen an den Spurkränzen in der R RTE 29500 [11] als nicht notwendig erachtet. Derzeit werden bei Meterspurbahnen keine Bogenkreuzungsweichen verwendet.

Sollten bei der Projektierung von neuen Bahnanlagen Bogenkreuzungsweichen verwendet werden, ist es empfehlenswert eine Untersuchung der Radsatzabmessung und der Entgleisungssicherheit im Herzstückbereich, in Anlehnung an die EN 14363 [1] sowie das UIC-Merkblatt 510-2 [4], durchzuführen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Untersuchungen im Rahmen der ORE C9 [2-3] in den 1960er Jahren durchgeführt wurden. Mit modernen Messmitteln kann diese Untersuchung noch präzisere Ergebnisse liefern.

7 Verzeichnisse

7.1 Referenzen

- [1] Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV): *EN 14363 Anhang E, Bahnanwendungen - Versuche und Simulationen für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen - Fahrverhalten und stationäre Versuche*. Vorschrift, 2019
- [2] ORE, Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes: *Frage C 9. Wechselwirkung zwischen Fahrzeug und Gleis, Verhalten kleiner Räder beim Überfahren von doppelten Herzstücken von Kreuzungen und Kreuzungsweichen*, Arbeitsergebnis Nr.7, 1965
- [3] ORE, Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes: *Frage C 9. Wechselwirkung zwischen Fahrzeug und Gleis, Verhalten kleiner Räder beim Überfahren einer Bogenkreuzung R = 450 m 1:9*, Arbeitsergebnis Nr.8, 1967
- [4] UIC, Union Internationale des Chemins de Fer: *Wagon. Bedingungen für die Verwendung von Rädern verschiedener Durchmesser in Laufwerken unterschiedlicher Bauart*. Merkblatt 510-2, 2022
- [5] Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, *Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung*, 2020
- [6] Verband öffentlicher Verkehr, *R RTE 22546, Geometrische Gestaltung der Fahrbahn, Meterspur*, 2022
- [7] Verordnung (EU) Nr. 321/2013 der Kommission vom 13. März 2012 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Güterwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union
- [8] Verordnung (EU) Nr. 1302/2014 der Kommission vom 18. November 2014 über eine technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union
- [9] Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV): *EN 15313: Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle -Radsatzinstandhaltung*. Vorschrift 2010.
- [10] Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV): *EN 13232-3: Bahnanwendungen – Oberbau – Weichen und Kreuzungen – Teil 3: Anforderungen an das Zusammenspiel Rad/Schiene*. Vorschrift 2003
- [11] Verband öffentlicher Verkehr, *R RTE 29500, Standardisierung Radsätze und Weichen, Meterspur*, 2007

7.2 Abbildungen

- Abbildung 1 Interaktion Radsatz-Herzstück bei Einfach- und Doppelkreuzungsweiche.....6
- Abbildung 2 Lage und Bewegung des Radsatzes im Bereich des doppelten Herzstückes8
- Abbildung 3 Lücke im doppelten Herzstück in Abhängigkeit des Kreuzungsverhältnisses **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- Abbildung 4 Führungsloser Laufweg l_f bei zweiseitiger Fahrbahnunterbrechung in doppelten Herzstücken..... 11
- Abbildung 5 Bogenkreuzungsweiche als kritische zugrunde gelegt im System ORE C9 14
- Abbildung 6 Beispiel einer Bogenkreuzung im Prüfgleis bei der DB Systemtechnik, Minden 16

