

# Kontaktverteilung – Kriterium zur Bewertung und Optimierung der Profilvereinigung Rad/Schiene

Prof. Dr.-Ing. habil. Oldrich Polach, Berater und Gutachter, Neuhausen am Rheinfall, Schweiz

## 1 Erweiterte Charakterisierung der Berührgeometrie Radsatz/Gleis

Die berührgeometrischen Eigenschaften der Schnittstelle Radsatz/Gleis werden in Bezug auf die Stabilität durch die äquivalente Konizität  $\tan \gamma_e$  für eine Radsatzamplitude von 3 mm charakterisiert, in Bezug auf die Bogenfahrt durch den aus der Rollradiusdifferenz  $\Delta r$  nah zur Spurkranzkehle berechneten Radialstellungsindex [1]. Die Rollradiusdifferenz ist eine Funktion der Radsatzquerauslenkung, die äquivalente Konizität eine Funktion der Radsatzamplitude, beide im Allgemeinen nichtlineare Funktionen (Abb. 1).

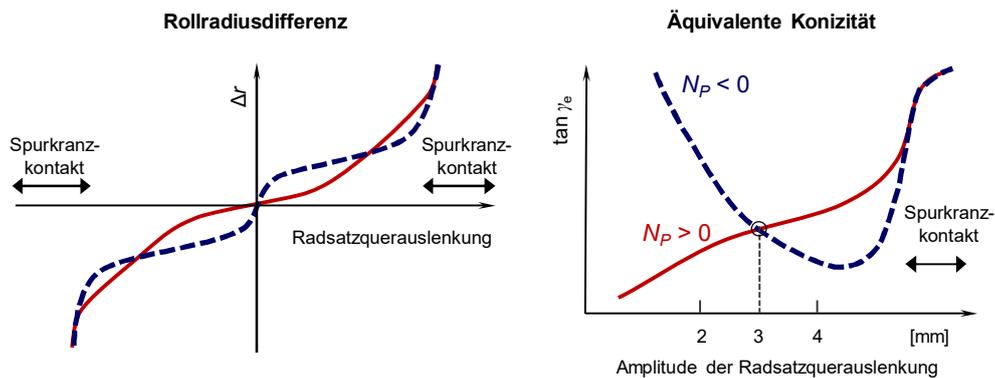


Abb. 1 Zusammenhang zwischen den Funktionen der Rollradiusdifferenz, der äquivalenten Konizität und dem Vorzeichen des Nichtlinearitätsparameters  $N_p$

Unterschiede im Verhalten der Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich nah zur Stabilitätsgrenze bei unterschiedlichen Konizitätsfunktionen mit demselben Wert der Konizität bei einer Amplitude von 3 mm haben den Verfasser zum Entwurf einer erweiterten Charakterisierung der Berührgeometrie Radsatz/Gleis motiviert [2]. Ein neuer Parameter, der Nichtlinearitätsparameter  $N_p$ , ist durch die Neigung der Konizitätsfunktion zwischen den Werten der äquivalenten Konizität für Amplituden von 2 und 4 mm definiert. Der Nichtlinearitätsparameter ersetzt nicht die äquivalente Konizität in Bezug auf die Instabilität, sondern ergänzt sie durch die Information über die Eigenschaften der Berührgeometrie Radsatz/Gleis im Hinblick auf das Fahrverhalten der Fahrzeuge [2]. Die Auswertungen der Veränderung der äquivalenten Konizität und des Nichtlinearitätsparameters mit der Laufleistung zeigen Zusammenhänge, welche zur Bewertung der Profilvereinigungen Rad/Schiene genutzt werden können.

## 2 Analyse der Kontaktverteilung zur Bewertung der Profilvereinigungen Rad/Schiene

Die Radprofile können in Bezug auf Schienenprofile und Einbauneigung der Schienen unter Anwendung von verschiedenen Methoden optimiert werden. Letztendlich ist aber entscheidend, wie lange die festgelegte Form der Profile im Betrieb erhalten bleibt. Die Form der Profile der Räder und Schienen verändert sich im Betrieb durch Verschleiss. Mit der Entwicklung der Hochgeschwindigkeitsstrecken verkehren immer mehr Fahrzeuge auf überwiegend geraden Strecken, so dass die Berührung Rad/Schiene mehrheitlich in der Lauffläche des Rades und des Schienenkopfs stattfindet. Mit Verschleiss von Rad und Schiene nimmt die Konformität der Profile zu, die Krümmungen der Profile von Rad und Schiene um den nominellen Berührungspunkt nähern sich an. Die äquivalente Konizität steigt, während der Nichtlinearitätsparameter mit zunehmender Fahrzeuglaufleistung sinkt. Durch die Zunahme der Konformität der Profile wird die Berührung zwischen Rad und Schiene breiter verteilt und der lokale Verschleiss verkleinert, wodurch sich die Änderung der Form des Radprofils mit steigender Laufleistung reduziert.

Untersuchungen von einer Vielzahl von gemessenen Rad- und Schienenprofilen [3] belegen diese Veränderungen der berührgeometrischen Parameter mit der Laufleistung der Fahrzeuge auf dem Europäischen Vollbahnnetz sowie im Hochgeschwindigkeitsverkehr ausserhalb Europas. Die Verteilung der Kontakte zwischen Rad und Schiene kann mittels Auswertung der Verschiebung des Kontaktpunkts (der Berührfläche) in Funktion der Radsatzquerauslenkung untersucht werden. Unter Annahme des Laufs des Radsatzes im geraden Gleis mit einer stochastischen Querbewegung mit der Normalverteilung der Radsatzauslenkung nach Gauß werden folgende Parameter zur Charakterisierung der Kontaktverteilung definiert [3]:

- Konzentration der Kontakte ( $C_C$ ) - Anzahl der Kontakte pro 1 mm des Radquerprofils bei Querauslenkung des Radsatzes um 1 mm

- Index der Kontaktkonzentration ( $CCI$ ) – Mittlere Konzentration der Kontakte als charakteristischer Parameter zur Bewertung der Kontaktverteilung der Paarungen Radsatz/Gleis.

Beim  $CCI$  von 1 entspricht die mittlere Verschiebung der Berührung auf dem Radprofil dem Wert der Radsatzauslenkung. Eine breite Verteilung der Berührung Rad/Schiene entspricht einer niedrigen Konzentration der Kontakte  $C_c$  und einem  $CCI$ , welcher deutlich kleiner als 1 ist.

Die Auswertung der Verschiebung des Kontakts Rad/Schiene sowie der Kontaktkonzentration ermöglicht eine Bewertung der Berührgeometrie Radsatz/Gleis im Hinblick auf die Formstabilität des Radprofils. Abb. 2 links zeigt die Verschiebung des Kontakts Rad/Schiene mit der Radsatzquerauslenkung für vier Profilkombinationen mit Spurweite von 1435 mm. Das Radprofil S1002 stellt ein verschleissangepasstes Radprofil zur Schienenneigung 1:40, das Radprofil EPS (in der Lauffläche identisch mit dem britischen Profil P8) stellt ein verschleissangepasstes Radprofil zur Schienenneigung 1:20. Beide Profilkombinationen zeigen eine grosse Kontaktverschiebung bei Radsatzauslenkungen um die Nulllage, mit Maxima zwischen 6 bis 8 mm/mm, während die Kontaktverschiebung am konischen Radprofil 1/40 der Radsatzquerverschiebung entspricht ( $dy_c = 1$  mm/mm).

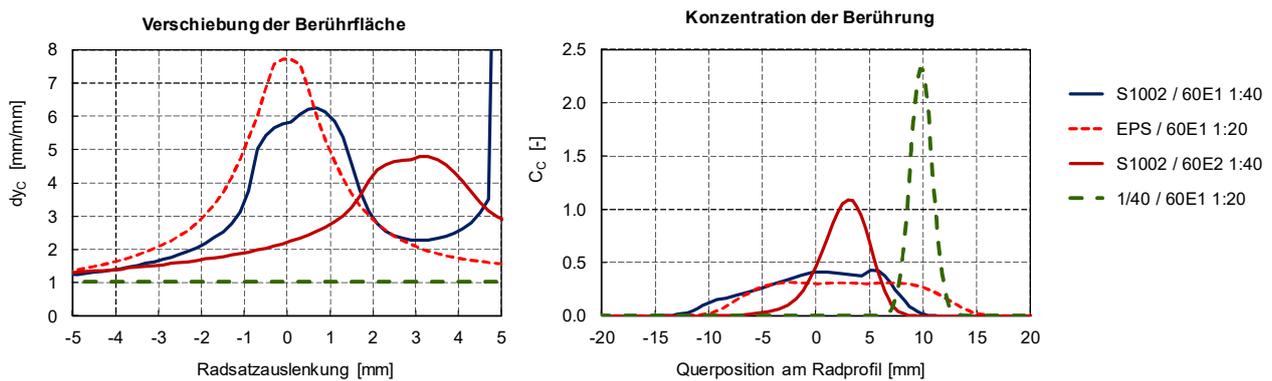


Abb. 2 Verschiebung der Kontaktfläche (links) und Kontaktkonzentration auf dem Radprofil (rechts)

Die Kontaktkonzentration für eine Radsatzquerbewegung mit einer Standardabweichung von 1 mm (Abb. 2 rechts) ist bei beiden verschleissangepassten Radprofilen klein, das heisst, dass die Kontakte breit über das Radprofil verteilt werden. Die Kombination des Radprofils S1002 mit der Schiene 60E2 1:40 zeigt eine grössere Kontaktkonzentration als mit 60E1. Die Umstellung vom Schienenprofil 60E1 auf 60E2 in Deutschland führt zu einem konzentrierteren Verschleiss, verbunden mit Konizitätszunahme – das Radprofil S1002 ist nicht mehr formstabil [4, 5].

### 3 Index der Kontaktkonzentration als Parameter zur Bewertung der Profilkombinationen Rad/Schiene

Die Auswertung der Kontaktkonzentration mittels  $CCI$  ermöglicht einen einfachen Vergleich der Profilkombinationen Rad/Schiene bezüglich der Kontaktverteilung und der zu erwartenden Formstabilität, siehe Abb. 3. Die für die entsprechenden Schienenneigungen abgeleiteten Verschleissprofile (in Abb. 3 mit grünem Rechteck markiert) weisen einen sehr niedrigen  $CCI$ -Wert von etwa 0.2 auf. Die Profilkombinationen mit Schiene 60E2 zeigen höhere Werte, ähnlich wie die Radprofile EPS (in Deutschland teilweise im Einsatz) auf Schienen mit Neigung 1:40.

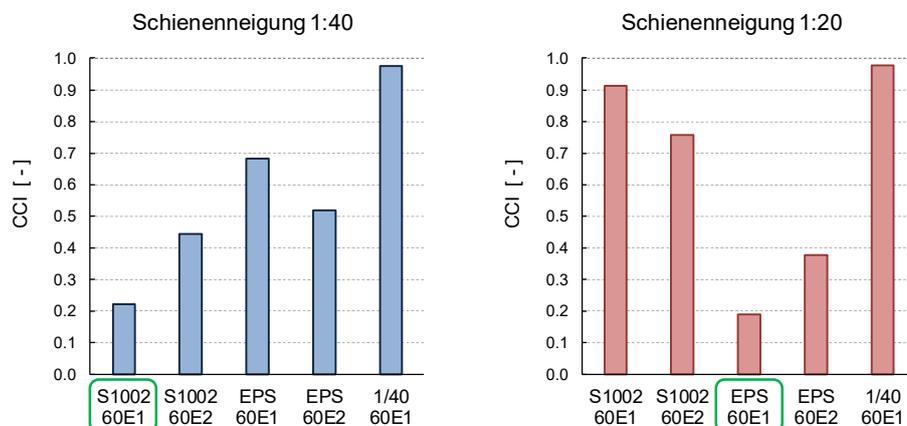


Abb. 3 Index der Kontaktkonzentration für Kombinationen von standardisierten Radprofilen mit Schienen 60E1 und 60E2, Spurweite 1435 mm, Schienenneigung 1:40 (links) und 1:20 (rechts)

Die Parameter der Kontaktkonzentration können die Beurteilung der Kontaktgeometrie Radsatz/Gleis sowie die Entwicklung neuer Radprofile unterstützen. Ein Radprofil kann sich als formstabil erweisen, wenn es eine hohe Konformität mit dem Schienenprofil aufweist. Als Beispiel für die Entwicklung neuer Radprofile, welche eine hohe Konformität aufweisen und somit als formstabil zu erwarten sind, kann der Entwurf eines Radprofils für die Schiene 60E2 aufgeführt werden. Das Radprofil OPW220A erreicht in Kombination mit der Schiene 60E2 1:40 etwa den gleichen Index der Kontaktkonzentration wie das Radprofil S1002 auf der Schiene 60E1 1:40, siehe Abb. 4 links. Auffällig ist die Ähnlichkeit der Konizitätsfunktionen beider Profilkombinationen für Radsatzamplituden zwischen 1 und 5 mm. Die äquivalente Konizität der Profilpaarung OPW220A / 60E2 1:40 erreicht für die Radsatzamplitude von 3 mm den Wert 0.20 und liegt nah bei der äquivalenten Konizität der Profilpaarung S1002 / 60E1 1:40. Der Verlauf der Konizitätsfunktion der Profilpaarung EPS / 60E1 1:20 ist ebenfalls ähnlich, erreicht aber ein höheres Niveau, bedingt durch die grössere Schienenneigung. Das neu entwickelte Radprofil OPW220A besitzt sehr ähnliche Eigenschaften wie andere verschleissangepasste Radprofile. Es kann somit erwartet werden, dass dieses Profil in Kombination mit der Schiene 60E2 1:40 und Spurweite 1435 mm durch Verschleiss weniger verändert wird, als das Radprofil S1002.

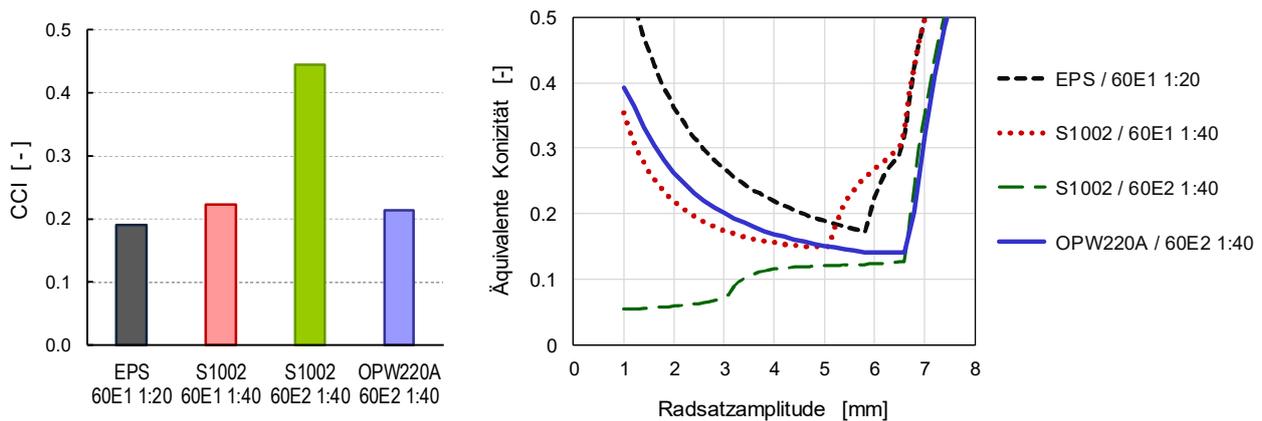


Abb. 4 Index der Kontaktkonzentration (links) und äquivalente Konizität (rechts) für das neu entwickelte Radprofil OPW220A mit Schiene 60E2 1:40, Spurweite 1435 mm, und Vergleich mit Profilpaarungen EPS / 60E1 1:20, S1002 / 60E1 1:40 und S1002 / 60E2 1:40

Die dargestellten Analysen und Parameter betrachten die Entwicklung der Berührgeometrie Rad/Schiene unter der Annahme vom Fahrzeugeinsatz auf überwiegend geraden Strecken. Sie sind somit nicht geeignet für Analysen der Berührgeometrie beim Verkehr auf Strecken mit einem hohen Anteil von engen Bogenradien, und können auch nicht als Ersatz für umfangreiche Studien der Verschleissentwicklung mit Hilfe von Mehrkörpersimulationen betrachtet werden. Sie können aber die Bewertung der Kontaktgeometrie Radsatz/Gleis verbessern und die Entwicklung neuer Rad- und Schienenprofile wesentlich unterstützen.

#### 4 Zusammenfassung

Die vorgestellte, erweiterte Charakterisierung der Berührgeometrie Radsatz/Gleis zeigt den Zusammenhang der Formstabilität der Profile mit deren Konformität. Die Bewertung der Kontaktverteilung mit dem Index der Kontaktkonzentration ist von wesentlicher Bedeutung für die Optimierung der Profilpaarungen. Nur Profilpaarungen mit sehr niedriger Kontaktkonzentration können sich als formstabil erweisen.

#### 5 Literatur

- [1] EN 14363:2016: Bahnanwendungen – Versuche und Simulationen für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen – Fahrverhalten und stationäre Versuche, CEN, Brüssel, 2016
- [2] O. Polach: „Characteristic parameters of nonlinear wheel/rail contact geometry“, Vehicle System Dynamics, Suppl., 48 (2010), S. 19-36
- [3] O. Polach, D. Nicklisch: „Wheel/rail contact geometry parameters in regard to vehicle behaviour and their alteration with wear“, Wear 366-367 (2016), S. 200-208
- [4] T. Kolbe: „Das in den 70er Jahren entwickelte und europaweit eingesetzte Radprofil S1002 ist heute kein Verschleißprofil auf dem deutschen Streckennetz mehr“, 14. Internationale Schienenfahrzeugtagung, Dresden, 23.-25. September 2015
- [5] K. Mädler, T. Kolbe: „Rad/Schiene-Kontakt im HGV – Veränderungen aus Sicht der Profilgeometrie und des Werkstoffs“, ZEVrail 141 (2017), Ausgabe Sonderheft Graz 2017, S. 140-143