

Messung und Bewertung der Überlaufgeometrie starrer Herzstücke

Eine neue Mess- und Bewertungsmethodik der Überlaufgeometrie führt zu höherer Auslieferungsqualität und zur Senkung des Instandhaltungsaufwandes starrer Herzstücke.



Abb. 1: Plastische Deformation der Herzstückspitze im Bereich des Radüberlaufs

Dirk Nicklich
Volkmar Sauer

Die Herzstücke von Eisenbahnweichen gehören zu den am stärksten beanspruchten Bauteilen des Eisenbahnfahrweges. Dementsprechend stellt die wirtschaftliche Sicherstellung einer hohen Verfügbarkeit dieser Bauteile eine große technische Herausforderung dar. Das spiegelt sich auch im Instandhaltungsbudget von ca. 29 Mio. EUR wider, das die DB Netz AG jährlich für das Auftragschweißen an starren Herzstücken aufwendet [1]. Dies beinhaltet im Wesentlichen Reparaturschweißungen, Entgratungsarbeiten, manuelles Head Check-Schleifen sowie die Beseitigung von Fehlern, die bei der zerstörungsfreien Prüfung festgestellt wurden.

Die Ursache für den hohen Instandhaltungsaufwand dieser Bauteile ist primär die hohe, vor allem vertikale, dynamische Beanspruchung, die bei der Übergabe der Räder von der Flügelschiene auf den Herzstückblock bzw. umgekehrt auftritt. Daraus resultieren Materialzerrüttung und -ausbrüche sowie die Ausbildung von Schwellenhohllagen mit möglichen Folgeschäden (Abb. 1).

Die sukzessive Erhöhung der Geschwindigkeitsgrenze für starre Herzstücke auf inzwischen 230 km/h machte es erforderlich, den damit verbundenen, veränderten Lastkollek-

tiven entsprechende konstruktive Verbesserungen entgegenzusetzen. So wurde in den vergangenen Jahren mit den bainitischen Herzstücken ein alternativer Werkstoff erfolgreich eingeführt [2] und die Ausrüstung der Weichen mit elastischen Rippenplattenlagerungen vorangetrieben. Außerdem wurden erste Untersuchungen zur Optimierung der Überlaufgeometrie von Herzstücken durchgeführt [3, 4].

Neben der Weiterentwicklung der Herzstückkonstruktionen muss aber auch die ständige Verbesserung der Instandhaltungsverfahren maßgeblich zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Fahrweges beitragen. Die hier erkannten Defizite betreffen vor allem die fehlenden objektiven Eingriffsschwellen für die Herzstückinstandsetzung sowie eine nicht mehr dem Stand der Technik entsprechende Methodik zur Messung und Bewertung der Überlaufgeometrie der Herzstücke. Letzteres gab Anlass zu den nachfolgend beschriebenen neuen Denkansätzen.

Grundlagen

Aufgrund der konstruktiven Gestaltung starrer Herzstücke erfährt ein über das Herzstück rollendes Fahrzeugrad zunächst eine Absenkungsbewegung. Am Ort der maximalen Radabsenkung wechselt der Angriffspunkt der Rad/Schiene-Kontaktkraft zwischen Flügelschiene und Herzstück (Radübergabe)

und anschließend wird das Rad wieder auf das ursprüngliche Niveau angehoben. Beginn bzw. Ende dieser Radabsenkungskurve liegen jeweils am Flügelschienenknick und am K-Punkt (Beginn der Blockabsenkung) des Herzstückes (Abb. 2). Diese Überlaufcharakteristik ist grundsätzlich mit einem kurzwelligen vertikalen Gleislagefehler vergleichbar. Analog zum Gleis werden auch hier die resultierenden dynamischen Kräfte zwischen Rad und Herzstück wesentlich durch Amplitude und Länge der vertikalen Radabsenkung bestimmt. Beim Herzstücküberlauf ist aber zusätzlich die abrupte Richtungsänderung im Moment der Radübergabe (Übergabewinkel) entscheidend für die Größe der auftretenden Bauteilbeanspruchung.

Im Neuzustand beträgt die maximale Absenkung eines Rades mit dem Standardradprofil S1002 bei allen Herzstücktypen ca. 3 mm. Die zugehörige Radposition wird auch als theoretischer Radüberlauf bezeichnet und ist in den Regelzeichnungen als Schnitt C-C zu finden. Die Länge der vertikalen Radbewegung ist hingegen für jeden Herzstücktyp unterschiedlich und liegt im Bereich von ca. 1,5 m (Neigung 1:7,5) bis ca. 4,3 m (Neigung 1:18,5).

Neben den konstruktiv bedingten Einflüssen aus der Herzstückneigung spielt die Radprofilform für die Charakteristik der Radabsenkungskurve und damit das Beanspruchungsniveau eine wesentliche Rolle. In Abb. 2 sind am Beispiel eines Einfachen Herzstücks EH 60-500-1:12 die Radabsenkungskurven für drei verschiedene Radprofile dargestellt. Beim neuen Radprofil S1002 erfolgt die Radübergabe am nächsten zur praktischen Herzstückspitze gelegen am bereits erwähnten theoretischen Radüberlauf. Mit fortschreitendem Verschleiß des Radprofils bis hin zu hohlgelaufenen Rädern verschieben sich die Aufsetzpunkte weiter in Richtung Herzstückende. Gleichzeitig wird die Radabsenkungskurve im Bereich des Kontaktes mit der Flügelschiene immer steiler, wodurch die bei der Radübergabe auftretenden Vertikalkräfte zwischen Rad und Herzstück stark ansteigen. In Abhängigkeit vom Gradienten der Radabsenkung kann das Rad bei spitzer Befahrung mit hoher Fahrgeschwindigkeit kurzzeitig den Kontakt mit der Flügelschiene verlieren, wobei es die kinematische Radabsenkungskurve verlässt und unter einem

etwas flacheren Winkel weiter hinten auf den Herzstückblock aufrifft.

Aufgrund der geschilderten geometrischen Gegebenheiten beim Zusammenspiel Radprofil- Herzstück- Flügelschiene ergibt sich in der Praxis eine breite Streuung sowohl der Aufsetzpunkte als auch der Vertikalbeanspruchung. In Abb. 3 ist dies beispielhaft anhand von Messungen an einem Einfachen Herzstück EH 60 - 500 - 1:12 dargestellt [5]. Die Aufsetzpunkte liegen hier im Bereich von ca. 300 mm bis 500 mm hinter der praktischen Herzstückspitze, das Spektrum der maximalen Vertikalkraft reicht von ca. 90 kN bis 230 kN. Zudem kann man erkennen, dass die vertikalen Radkräfte mit dem Wandern der Aufsetzpunkte in Richtung K-Punkt tendenziell zunehmen (verschlissene Räder).

Parallel zu den von der DB Systemtechnik GmbH durchgeführten Messungen wurden bei der DB Netz AG Simulationsrechnungen mit dem Programmsystem Simpack zur Abschätzung der Beanspruchung starrer Herzstücke im heute zulässigen Geschwindigkeitsbereich durchgeführt. Neben einer guten Übereinstimmung mit den Messungen (ca. 220 kN maximale Vertikalkraft bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h und Herzstückneigung 1:12) wurde die Problematik der breiten Spreizung der Herzstückbeanspruchung bei höheren Geschwindigkeiten deutlich sichtbar. Bei der heute zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 230 km/h bedeutet dies beispielsweise für die Herzstückneigung 1:9 im Neuzustand eine Erhöhung der Vertikalbeanspruchung auf ca. 175% gegenüber der Herzstückneigung 1:18,5. Es ist zu erwarten, dass sich diese Unterschiede bei Kombination diverser Verschleißzustände von Herzstück und Radprofil noch weiter verstärken. Unter diesen Randbedingungen kommt der Optimierung der Überlaufgeometrie mit dem Ziel minimaler vertikaler Radabsenkungen und geringer Winkeländerungen im Übergabepunkt eine große Bedeutung zu. Erste Simulationsrechnungen zu einer vom Fachbereich Weichentechnik entworfenen neuartigen Herzstückgestaltung zeigten insbesondere bei verschlissenen Rädern deutlich positive Effekte, allerdings auch ein noch weiterhin bestehendes Optimierungspotenzial [4].

An dieser Stelle sollen auch die bereits bei der DB Netz durchgeführten Simulationsrechnungen zum Schädigungsverhalten von Herzstücken [6] erwähnt werden. Hier wurde z. B. gezeigt, dass bei der Herzstücküberfahrt einer Lok, die für den Werkstoff R 350 HT zulässige Schubfließgrenze von 620 MPa für alle gerechneten Geschwindigkeiten und Radprofilformen überschritten wird. Somit wurde die Notwendigkeit einer werkstoffseitigen Weiterentwicklung dokumentiert. Gleichzeitig konnte eine gute qualitative Übereinstimmung der Simulationser-

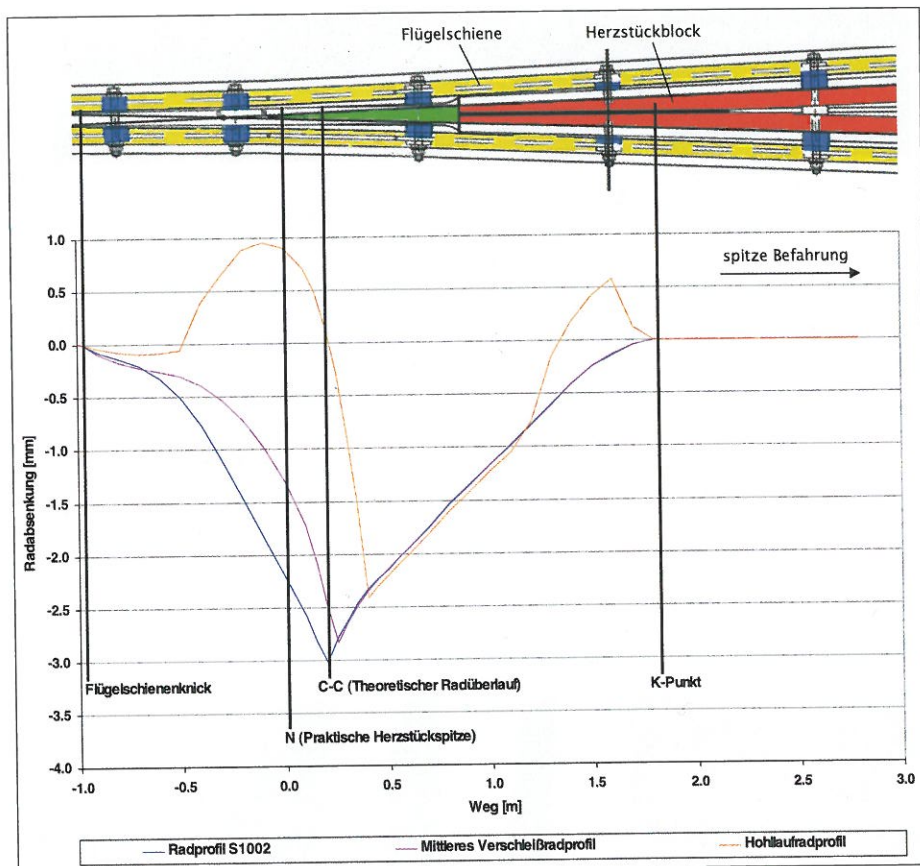


Abb. 2: Radabsenkungskurven an einem Einfachen Herzstück EH 60-500-1:12

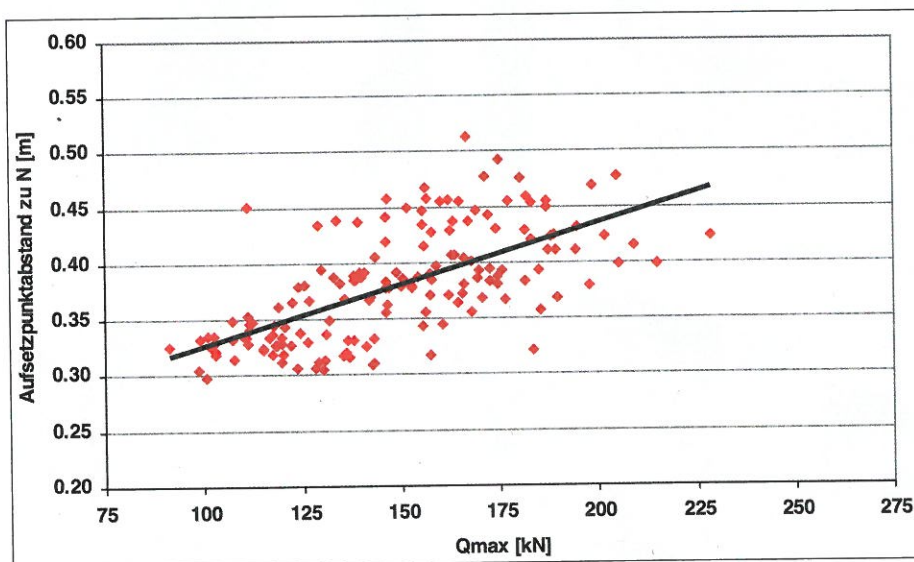


Abb. 3: Aufsetzpunkte und maximale Vertikalkräfte (EH 60-500-1:12, Liegedauer ca. ein Jahr, spitze Befahrung mit bis zu 160 km/h, alle Fahrzeuggattungen)

gebnisse mit der Streckenbeobachtung (Head Checks, Längsrisse) festgestellt werden, da die berechneten Schubspannungsrichtungen jeweils senkrecht zu den am Herzstückblock beobachteten Rissverläufen stehen (Abb. 4). Bezüglich des Schädigungsverhaltens müssen weiterführende Untersuchungen folgen, um den beschriebenen Effekten mit geeigneten konstruktiven Gegenmaßnahmen inklusive belastbarer Eingriffsschwellen in der Instandhaltung zu begegnen.

Entwicklung Herzstückmessgerät

Derzeit wird die Überlaufgeometrie sowohl bei der Abnahme in den Weichenwerken als auch bei der Herzstückinstandsetzung im Gleis lediglich punktuell am theoretischen Radüberlauf (Schnitt C-C) anhand des Abstandsmaßes Oberkante Flügelschiene - Herzstückblock bewertet. In der Herzstückinstandsetzung wird dieses mittels eines auf Oberkante Flügelschiene aufgelegten Messpunkttesters und einer Fühlerlehre bestimmt

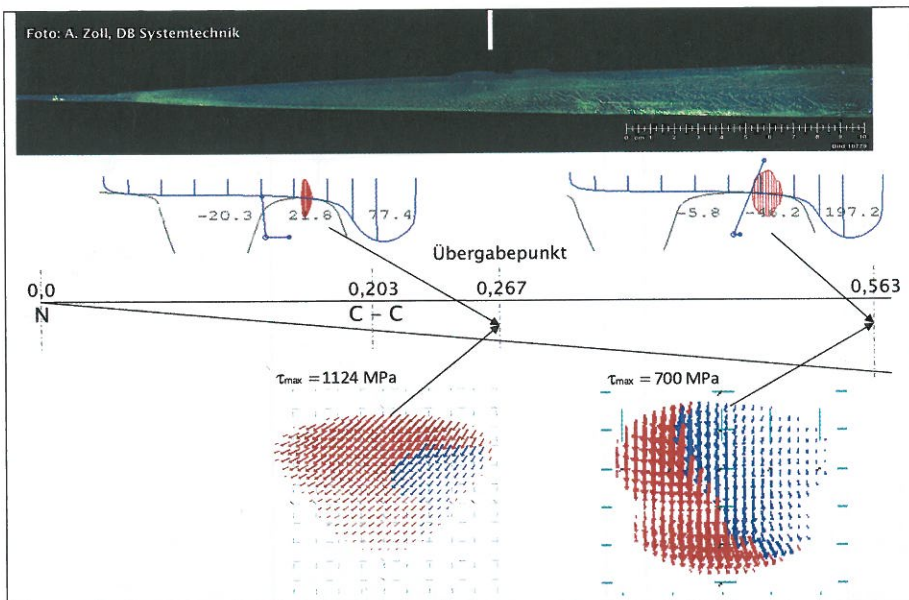


Abb. 4: Vergleich der Simulationsergebnisse zum Schädigungsverhalten von Herzstücken mit beobachteter Rissentwicklung an einem EH 60-500-1:12 [6]

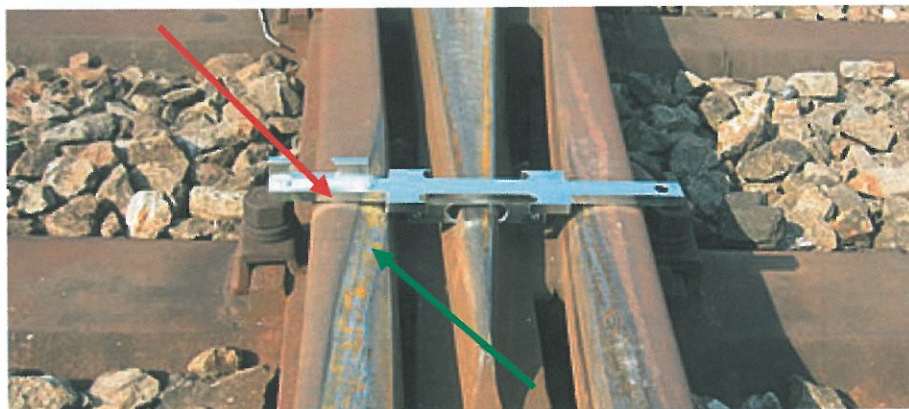


Abb. 5: Derzeitige Prüfung der Überlaufgeometrie an starren Herzstücken

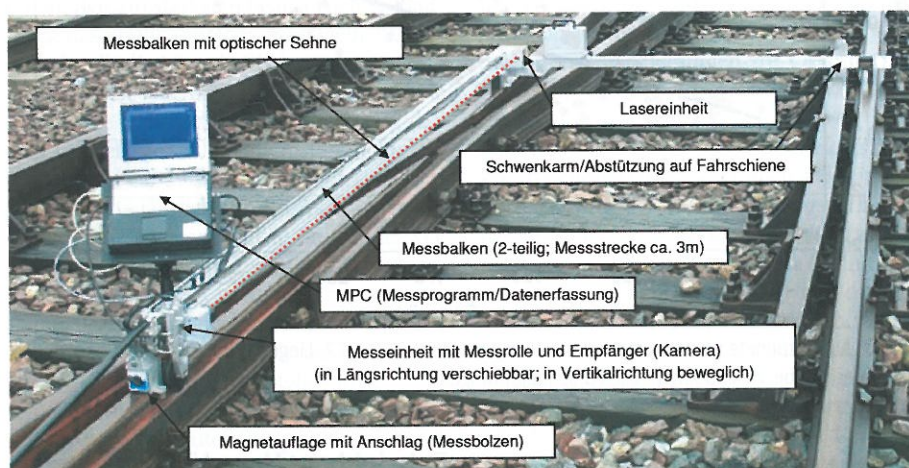


Abb. 6: Entwicklung Herzstückmessgerät – lange Version

(Abb. 5). Wesentlicher Nachteil dieser Methodik ist, dass als Referenz ein nicht vom Rad berührter Bereich der Flügelschiene verwendet wird (roter Pfeil). In der Realität hat jedoch das jeweils vorhandene Quer- bzw. Verschleißprofil der Flügelschiene (grüner Pfeil) wesentlichen Einfluss auf den Verlauf

der vertikalen Radbewegung, die Winkeländerung bei der Radübergabe und damit auf die Vertikalbeanspruchung des Herzstückes. Grundgedanke der Entwicklung des Herzstückmessgerätes war es daher, die beschriebene punktuelle Beurteilung zu verlassen, stattdessen die Vertikalbewegung eines Re-

ferenzrades im Herzstückbereich über einen größeren Längenbereich abzubilden und diese anschließend zu bewerten. In Kooperation mit dem Messgerätehersteller Vogel & Plötscher wurde zunächst ein Messgerät in Form eines Messbalkens mit einer optischen Sehne über eine Länge von ca. 3 m konzipiert (Abb. 6). Damit ist es möglich, den kompletten Bereich der Radabsenkung (Flügelschienenknick bis K-Punkt) für alle Herzstücktypen mit einer Neigung bis 1:12 zu erfassen. Kernstück des Messgerätes ist dabei die Messeinheit zur Aufnahme der Trajektorie einer vertikal beweglichen Messrolle, deren Form einem Referenzradprofil entspricht. Ebenso können durch Umsetzen des Messgerätes auch die Bereiche vor dem Flügelschienenknick bzw. hinter dem K-Punkt vermessen und so die Höhenlage des Herzstückes bestimmt werden. In der Praxis erwiesen sich jedoch insbesondere die geteilte Ausführung des Messbalkens, das Überlagern der Überlaufgeometrie mit „langwelligen“ Fehlern (Herzstückdurchhang) sowie der aufgrund der horizontalen Anlage im Bereich des Flügelschienenknicks nicht immer durchgehend sicherzustellende fluchtende Verlauf der Fahrkante als nachteilig.

Dieser erste Prototyp wurde zunächst vorrangig im Rahmen der Projektarbeit eingesetzt, insbesondere bei der Erprobung verschiedener Herzstückkonstruktionen in einem Versuchsabschnitt bei Haste. Die Auswertungen ergaben, dass die maßgebliche plastische Deformation an Flügelschiene und Herzstück nur über eine kurze Länge auftritt. Gleichzeitig wurden durch parallele Projekte Möglichkeiten aufgezeigt, den Durchhang des Herzstückes aus dem unter Last gemessenen Längshöhenprofil der gesamten Weiche zu ermitteln. Vor diesem Hintergrund und zur Beseitigung der oben genannten Nachteile wurde im nächsten Schritt eine Kurzversion des Herzstückmessgerätes mit einem Messbereich von ca. 800 mm Länge konstruiert (Abb. 7).

Als wesentliche Vorteile der Kurzversion sind zu nennen:

- besseres Handling (geringeres Gewicht, kleinere Abmessungen),
- Reduzierung der Herstellkosten (Ersatz der Laser-Kamera-Technik durch induktive Wegaufnehmer),
- robustere, torsionsstifere Bauweise,
- eindeutige Referenzebene durch Aufsetzen des Messgerätes im hinteren Bereich der Flügelschienen, welcher nicht mehr von Rädern berührt und bei Instandsetzungen nicht beeinflusst wird sowie
- Informationszuwachs durch die Implementierung einer zusätzlichen Schlepprolle zur Erfassung der Blockabsenkung.

Die Software des Messgerätes wurde zunächst so konzipiert, dass die für die Bewertung der Überlaufgeometrie relevanten Auswertgrößen (Abb. 8) über einen speziellen Rechenal-

gorithmus automatisiert bestimmt und dem Anwender unmittelbar nach der Messung bereitgestellt werden. Mit dieser Lösung ist der Einsatz des Messgerätes in den Weichenwerken im Rahmen der Herzstückabnahme möglich und über den Soll-Ist-Vergleich in der Aussage auch ausreichend.

Aufgrund der Ideen und Anregungen, die im Rahmen der Präsentation des Messgerätes auf diversen DB Netz-internen Technologieworkshops in 2012 gesammelt wurden, erfolgte im Vorfeld des im Frühjahr 2013 durchgeführten Praxistests in fünf Regionalbereichen eine weitere Optimierung der Auswertesoftware. Zielstellung war es dabei, dem Anwender unmittelbar nach der Messung auf Tastendruck über einfache Grafiken eine Gut-Schlecht-Aussage inklusive Hinweisen zu gegebenenfalls notwendigen Korrekturen anzubieten.

In Abb. 9 sind hierzu die wesentlichen Neuerungen zusammengefasst. In der oberen Darstellung wird die Güte der Überlaufgeometrie mittels grafischer und numerischer Ausgabe der Lage des Radübergabepunktes sowie der Neigungswinkel der Radabsenkungskurve veranschaulicht. Die Istwerte werden getrennt für Flügelschiene und Herzstückblock mit den zulässigen Toleranzen verglichen und bewertet. In der mittleren Darstellung erhält der Anwender eine Information über die real vorhandene Rampenneigung des Herzstückblocks bzw. den Vergleich zu den im Regelwerk angegebenen steilsten und flachsten Rampen. In der unteren Grafik ist der Soll-Ist-Vergleich der Blockabsenkung dargestellt. Dabei wird der gemessene Absenkungsverlauf an dem nach Regelzeichnung gültigen Sollverlauf ausgerichtet und im Abstand von 100 mm die vertikale Differenz ausgegeben. Somit kann der Instandhalter sehr schnell die Stellen mit fehlendem oder überflüssigem Material identifizieren.



Abb. 7: Entwicklung Herzstückmessgerät – kurze Version

Abb. 1, 5-7: DB Netz AG

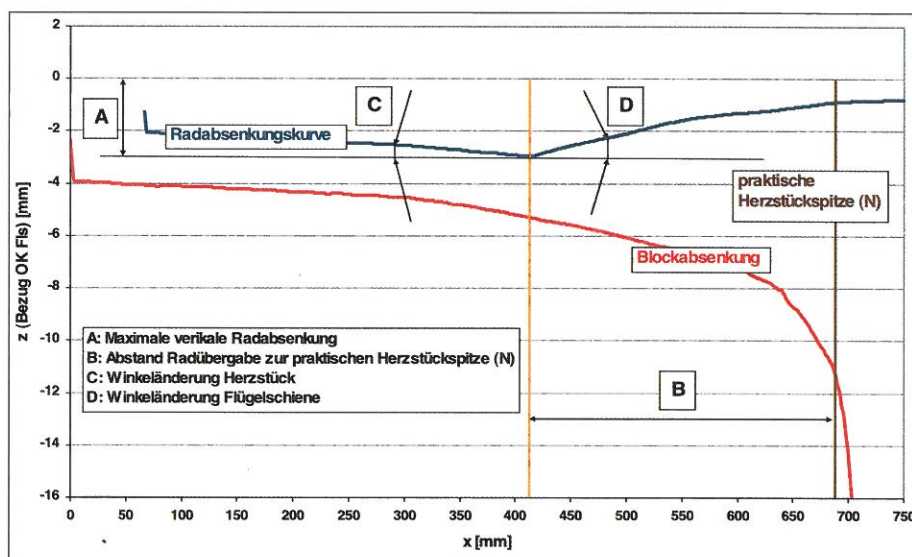


Abb. 8: Auswertegrößen zur Beurteilung der Überlaufgeometrie

Anwendung

Das Herzstückmessgerät soll dazu dienen sowohl die Überlaufgeometrie starrer Herz-

stücke ab Weichenwerk als auch alle anschließend notwendigen schleif- und schweißtechnischen Eingriffe an den Herzstücken ab

Auch für Weichen mit Verschluss-schwellen!

www.austroroll.at

A - 2551 Enzesfeld, Fabrikstraße 2
Tel. +43 (0) 2256 / 81145
e-Mail: austroroll@buntmetall.at

Rollen statt schmieren!

AUSTROROLL®

Weichenzugungen-Rollvorrichtung

- stoßunempfindlich durch dauerhaft elastische Lagerung
- 60% Stellkraftreduktion über gesamten Stellweg
- für Neubau und Nachrüstung
- 5 Jahre Gewährleistung
- kundenspezifische Halterungslösungen
- über 180.000 Rollen im weltweiten Einsatz
- Oberbaustandard (z.B. bei DB-AG, ÖBB)

Werk Enzesfeld-Caro

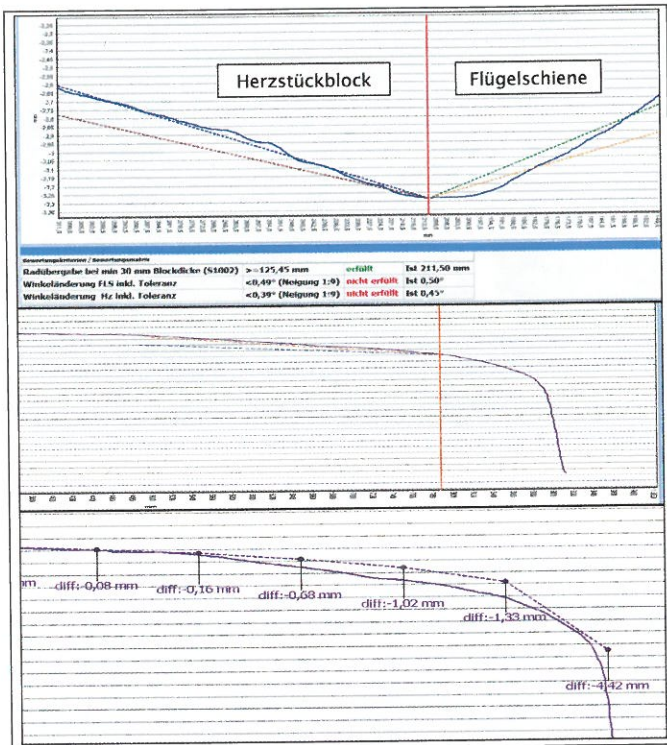


Abb. 9: Bildschirmausgabe des weiterentwickelten Herzstückmessgerätes (oben: Radabsenkungskurve (blau), Mitte: Vergleich Oberkante Herzstückblock mit zulässiger Rampenneigung, unten: Soll-Ist-Vergleich Oberkante Herzstückblock)

laufgeometrie zu verzeichnen sind. Das zeigt einerseits, dass bei entsprechender Qualifikation und Erfahrung der Instandhalter auch mit den heute zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln vor Ort die geforderte Qualität erreichbar ist. Andererseits wird aufgrund der demografischen Entwicklung bei der DB Netz die Unterstützung durch geeignete zeitgemäße Messmittel immer wichtiger. Das Feedback der Instandhalter zum diesjährigen Praxiseinsatz hat außerdem ergeben, dass die Anwendung des Herzstückmessgerätes bei der schweißtechnischen Arbeitsaufnahme vor allem an hoch belasteten starren Herzstücken im Bereich $v \geq 160$ km/h bzw. ab $v \geq 120$ km/h und einer Belastung ≥ 50000 Leistungstonnen/Tag als sehr sinnvoll angesehen wird, da die bessere Überlaufgeometrie hier besonders wirksam zur Verminderung der Rad-Schiene-Kräfte und der damit verbundenen vielfältigen Auswirkungen beitragen kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Die im aktuellen Regelwerk der DB Netz existierenden Kriterien zur Beurteilung der Überlaufgeometrie von Weichenherzstücken sind nicht ausreichend, um die Interaktion mit den Fahrzeugrädern vollständig zu beschreiben und rechtzeitig Maßnahmen zur Vermeidung einer fortschreitenden Materialschädigung infolge dynamischer Überbeanspruchung zu ergreifen. Mithilfe des hier vorgestellten Herzstückmessgerätes und der vorgeschlagenen Beurteilungskriterien ist es nun wesentlich besser möglich, die Qualität der Radübergabe zwischen Flügelschiene und Herzstückblock einschließlich der direkt anschließenden Bereiche quantitativ zu bewerten und ggf. notwendige Korrekturmaßnahmen abzuleiten. Im vorliegenden Beitrag wurde aufgezeigt, wie durch den Einsatz des neuen Messverfahrens die Auslieferungsqualität neuer Weichenherzstücke sowie deren schweißtechnische Aufarbeitung im Gleis signifikant verbessert werden können. Gemäß dem derzeitigen Stand der Überlegungen ist es allerdings nicht vorgesehen, die manuelle Beurteilung der Überlaufgeometrie mit dem Herzstückmessgerät in die regelmäßige Weicheninspektion zu integrieren. Daher erscheint es als sinnvoll, verschlissene Herzstücke mit unzureichender Überlaufgeometrie durch geeignete Verfahren automatisch zu identifizieren und dem Instandhalter nach Dringlichkeit geordnet die Notwendigkeit einer schweißtechnischen Arbeitsaufnahme anzuzeigen. Hierfür bieten sich aktuell zwei Verfahren an. Zum einen kommt die Auswertung von Beschleunigungsmessungen am Radsatzlager eines das Herzstück passierenden Fahrzeuges infrage, wobei aus der gemessenen Vertikalbeschleunigung die Radabsenkungskurve und der Energieeintrag ermittelt und zur Beurteilung herangezogen werden. Bei geziel-

einer noch festzulegenden Belastungsstufe in der geforderten Qualität sicherzustellen. Die sowohl in den Weichenwerken als auch in diversen Netzbezirken durchgeführten Testläufe zeigten entsprechendes Verbesserungspotenzial auf und bestätigten die Richtigkeit dieser Entwicklung.

In Abb. 10 sind beispielhaft die Messkurven von zwei neu gefertigten Einfachen Herzstücken EH 54-190-1:9 dargestellt. Am Schnitt C-C erfüllen zwar beide das Abnahmekriterium bezüglich der Blockabsenkung (Soll 4,5 mm für diesen Herzstücktyp), jedoch besitzen die Herzstücke völlig unterschiedli-

che Überlaufcharakteristiken. Während sich bei Herzstück 1 (grün) der gewünschte flache Übergabewinkel einstellt, fällt dieser bei Herzstück 2 (rot) deutlich steiler aus. Grund hierfür ist die Radübergabe im Bereich der steileren Schutzabsenkung, wodurch eine wesentlich höhere Materialbeanspruchung zu erwarten ist. Abhilfe wäre in diesem Fall über ein geringfügiges Tiefschleifen des vorderen Bereiches der Blockspitze möglich. Die Testläufe in der Herzstückinstandsetzung haben deutlich gemacht, dass zwischen den einzelnen Netzbezirken große Unterschiede bezüglich der erzielten Qualität der Über-

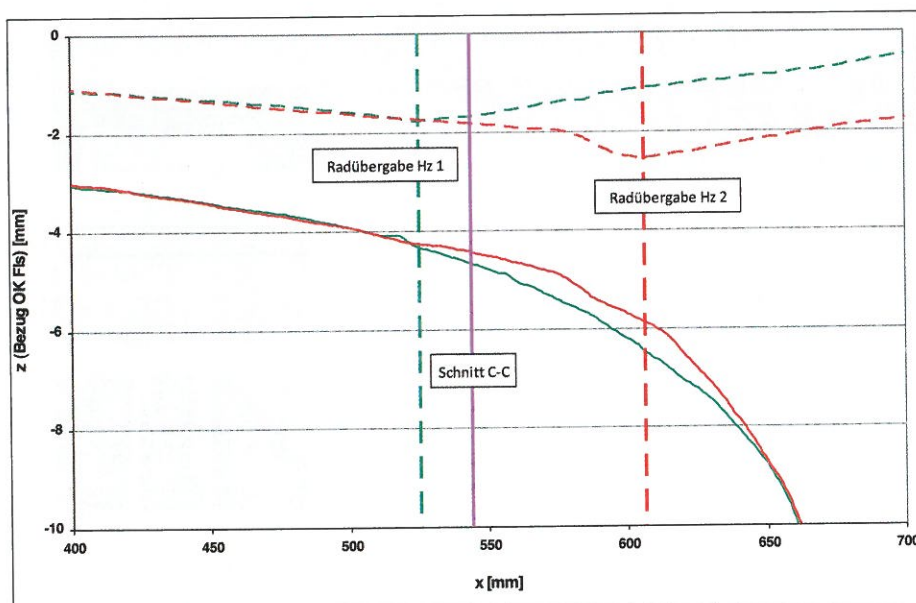


Abb. 10: Beispiele für Testmessungen im Weichenwerk

