

LO4.1.1 Kurzfristige Lösungen bei Problemen mit erhöhtem Spurkranzverschleiss

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug – Fahrweg Meterspur
Projekt: 3 Grundlagen Rad / Schiene
Modul: 4 Systemische Aspekte Interaktion

Technischer Bericht



ID: RAILPlusSF-00022

Datum / Status: 27.11.2023 / Freigegeben

Seitenanzahl 24

Verfasser: Lukas Schuler / RBS

Geprüft: Roland Müller / GleislauftechnikMueller

Freigegeben: Mauro Saputelli / PRJMA

Zitierweise: RAILplus, Lukas Schuler, RBS; RAILPlusSF-00022, Kurzfristige Lösungen bei Problemen mit erhöhtem Spurkranzverschleiss; 27.11.2023

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	12.07.2023	L. Schuler	Erster Entwurf
0.2	01.09.2023	L. Schuler	Bereinigter Entwurf.
0.3	21.09.2023	L. Schuler	Anpassung/Erweiterung, Kapitel 5
0.4	31.10.2023	R. Müller	Prüfung des Berichts
1.0	11.11.2023	M. Saputelli	Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter
1.1	23.11.2023	L. Schuler	Überarbeitung
1.1	27.11.2023	R. Müller	Prüfung des Berichts
1.1	27.11.2023	M. Saputelli	Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter

Freigabe durch die Systemführerschaft

Version	Verantwortlich	Datum
1.1	Technical Board	28.11.2023
1.1	Management Board	

Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
RBS	Regionalverkehr Bern-Solothurn AG
SKS	Spurkranzschmierung

Glossar

Wort	Beschreibung
qR-Mass	Gibt Informationen zu den geometrischen Veränderungen am Spurkranz. Siehe RTE29500 Standardisierung Radsätze und Weichen Meterspur, 3.3.5 qR-Mass
Verschleissvorrat	Differenz des Raddurchmessers zwischen Neumass und Werksgrenzmass (kleinster zu drehender Durchmesser)

Management Summary

Die Spurkranzschmierung soll dazu beitragen, dass ein definierter Reibwert an den Flanken zwischen Rad und Schiene eingestellt werden kann. Dieser dient zum einen dazu, das Risiko einer Entgleisung vor allem in Bögen mit kleinem Halbmesser durch Aufklettern zu verringern und zum anderen den Verschleiss an diesen Kontaktflächen sowohl am Rad als auch an den Schienen zu minimieren.

Kommt es zu einer Mangelschmierung oder gar zum Abriss des Schmierfilmes, kann dies die beiden erwähnten Mechanismen der Entgleisung und des Verschleisses und deren Folgen negativ beeinflussen. Die Erfahrung zeigt, dass im Falle der Mangelschmierung der Verschleiss am Rad wegen der deutlich grösseren Zyklenzahl der Berührung deutlich schneller voranschreitet als bei der Schiene. Dass dies zutrifft, konnte an einigen in der letzten Zeit bei den Meterspurbahnen bekannt gewordenen Vorfällen nachgewiesen werden. Innerhalb kürzester unterschritten dabei die qR-Masse den Grenzwert, was die Stilllegung der Fahrzeuge zur Folge hatte.

In diesem Bericht werden anhand eines typischen, auch für weitere beobachtete Fälle bei anderen Bahnen geltenden praktischen und zugleich repräsentativen Beispiels die Ursachen und Auswirkungen von Mangelschmierung am Spurkranz betrachtet. Dazu ist es erforderlich einige Aspekte aus theoretischer Sicht darzulegen, um daraus mögliche Ursachen und Auswirkungen abzuleiten.

Die grosse Schwierigkeit beim Erkennen einer Mangelschmierung ist, diese zeitnah zum Fehlverhalten des Interaktionssystems Rad-Schiene festzustellen. Je nach Fahrzeug und Trassierung kann es dazu führen, dass ein im Instandhaltungsplan festgelegtes periodisches Kontrollintervall der Fahrzeuge wegen des raschen Verschleissfortschrittes am Spurkranz nicht ausreicht, um das Problem bei der vorbeugenden Instandhaltung in den Unterhaltswerkstätten rechtzeitig zu erkennen und die notwendigen Abhilfemassnahmen zu treffen. In der Folge besteht die Möglichkeit, dass die spurführungsrelevanten Abmessungen an den Rädern deren Grenzwerte überschreiten und deshalb die Fahrzeuge stillgelegt werden müssen. Um dies unter Berücksichtigung der derzeit vorherrschenden Instandhaltungsphilosophie zu vermeiden ist es erforderlich, das objektgebundene Personal, wie zum Beispiel das Lokpersonal, auf dafür mögliche wahrnehmbare Symptome zu schulen und deren entsprechenden Beobachtungen den Instandhaltungsstellen zukommen zu lassen. Diese Ansprechstellen sind je nach Bahn festzulegen und es ist wichtig, dass diese Meldungen rasch bearbeitet und unmittelbar die notwendigen Massnahmen in die Wege geleitet werden. Als Symptome sind insbesondere sich verändernde Geräusche in Bögen zu nennen, welche sich als «mahlende Geräusche» bemerkbar machen. Ebenso können Hinweise von Streckenläufern bezüglich trockener bzw. blanker Schienenflanken und Metallabrieb Anzeichen für Mangelschmierung sein. Die Erfahrung hat gezeigt, dass auch auf Hinweise von Anwohnern bezüglich mehr Lärm unmittelbar reagiert werden sollte.

Starker Verschleiss an Spurkränzen ganzer Fahrzeugserien als Folge von Mangelschmierung trat in der vergangenen Zeit vor allem in den folgenden Fällen auf bei

- defekten oder nicht ausreichend der Trassierung und den Betriebsverhältnissen angepasste Schmieranlagen;
- Neubaustrecken, erneuerten oder geschliffenen Streckenabschnitten;
- veränderten Fahrschemas infolge von Streckenunterbrüchen;
- Hitzeperioden wie zum Beispiel Sommer 2022.

Ist der Schmierfilm an der Fahrkante/Schienenflanke einer oder mehreren bogenäusseren Schienen insbesondere in engen Bögen nicht mehr vorhanden, sollte dieser möglichst schnell wieder hergestellt werden, damit es nicht zu katastrophalem Spurkranzverschleiss kommt. Dafür sind mehrere Möglichkeiten denkbar wie zum Beispiel

- lokales Schmieren von Hand,
- schmieren mit einem dafür präparierten Fahrzeug.

Um gesicherte Angaben für die Initialschmierung bei den Meterspurbahnen in einem für die Schmierung anzuwendenden Regelwerk machen zu können, müssen entsprechende Untersuchungen durchgeführt werden. Deren Resultate bilden danach die Grundlagen für eine Aufnahme in die Regelwerke Technik Eisenbahn (RTE) des Verbandes öffentlicher Verkehr (VöV).

Inhalt

1	Ausgangslage	7
1.1	Grundlagen	7
1.2	Problemstellung und Abgrenzung.....	9
2	Messresultate	10
2.1	Erklärung der Diagramme zur Verschleissdarstellung an den Rädern	10
2.2	Verschleissentwicklung an allen Rädern des NExT 31	10
3	Ergebnisse/Interpretation der Messresultate	17
3.1	Katastrophaler Spurkranzverschleiss bei RBS im Sommer 2022.....	17
3.2	Ursache.....	19
3.3	Erkennen von katastrophalem Spurkranzverschleiss	19
3.3.1	<i>Aussergewöhnlicher Lärm/Geräusche</i>	19
3.3.2	<i>Metallabrieb neben der Aussenschiene</i>	20
3.3.3	<i>Trockene Aussenschiene, metallische glänzende Fahrkante</i>	20
4	Gründe für katastrophalen Spurkranzverschleiss	21
4.1	Defekte Anlagen.....	21
4.2	Neubaustrecke oder geschliffene Streckenabschnitte	21
4.3	Verändertes Fahrschema	21
4.4	Hitzeperiode	21
5	Aufbau eines Schmierfilms	22
5.1	Lokales Schmieren von Hand.....	22
5.2	Präpariertes Fahrzeug zum Schmierfilmaufbau.....	22
6	Ausblick	22
7	Verzeichnisse	23
7.1	Referenzen	23
7.2	Abbildungen	23
8	Anhang	24
8.1	Typenskizze NExT	24
8.2	Fahrdynamisches Profil.....	24

1 Ausgangslage

Spurkranzverschleiss entsteht beim Anlaufen des Spurkranzes an die Fahrkante oder bei fortgeschrittenem Schienenverschleiss an der Schienenflanke der bogenäusseren Schiene. Dies geschieht hauptsächlich in engen Bögen, wo

- die Rollradiendifferenz nicht mehr ausreicht, um einen ausreichenden Radialstellungsindex zu gewährleisten und/oder
- die Radsätze sich nicht oder nur unzureichend radial einstellen.

Damit der Reibwert zwischen Rad und Schiene gesenkt werden kann, müssen Spurkränze, Fahrkanten und Schienenflanken geschmiert werden. Die Senkung des Reibwertes dient zwei Zwecken:

- Minimierung des Entgleisungsrisikos durch Aufklettern des Rades an der bogenäusseren Schiene.
- Reduktion des Verschleisses am Spurkranz und der Fahrkante/Schienenflanke

Ist die Schmierung optimal eingestellt, so hält sich der Verschleiss an der Fahrkante in Grenzen, die Schienenflanke wird nicht berührt und der Verschleiss am Spurkranz ist im Gleichgewicht mit dem Laufflächenverschleiss. In diesem Fall würden sich zumindest zwei der spurführungsrelevanten Masse an den Rädern (S_d und q_R) kaum verändern.

Entsteht durch eine Änderung am Gesamtsystem eine Mangelschmierung oder kommt es sogar zum Abriss des Schmierfilms, hat dies Folgen sowohl für die Entgleisungssicherheit wie auch für die Lebensdauer von Rad und Schiene. In einer ersten Phase besteht erhöhtes Entgleisungsrisiko in Bögen durch Aufklettern, da infolge Mangelschmierung der Reibwert ansteigt. Im weiteren Verlauf wird sich extrem starker Spurkranzverschleiss einstellen. Dieser äussert sich in der Entwicklung eines steileren Spurkranzes mit einhergehendem, sich sehr schnell reduzierendem q_R -Mass. In dieser Phase ist das Risiko der Entgleisung in Bögen infolge des steileren Spurkranzes wiederum kleiner. Jedoch steigt das Risiko einer Entgleisung in Weichen durch Aufsteigen des Spurkranzes an der Weichenzungenspitze infolge zu kleinem q_R -Mass.

Das Versagen der Schmierung oder eine unzureichende Schmierung kann mehrere Ursachen haben. Die Auswirkung dieses Versagens können, insbesondere an der Spurkranzflanke, zu einem derart schnell ansteigenden Verschleiss führen, dass dessen Feststellung anhand von Kontrollen bei den planmässigen Inspektionsintervallen nicht abgedeckt ist.

1.1 Grundlagen

Je nach Stellungsbild des Fahrwerks in der Kurve stellt sich ein bestimmter Anlaufwinkel des Radsatzes zur Schiene ein (Abbildung 1). Dabei kann dieser je nach Fahrwerkstyp und Bogenhalbmesser variieren. Durch den Anlaufwinkel entsteht am vorlaufenden bogenäusseren Rad neben dem Kontaktpunkt in der Lauffläche ein weiterer Berührungspunkt am Spurkranz (wenn hier von Berührungspunkten gesprochen wird, ist natürlich auch die Kontaktfläche gemeint). Es kommt dann zu sehr hohen Gleitbewegungen zwischen Spurkranz und Schienenflanke und in Verbindung mit der Kontaktkraft dadurch zu erhöhtem Verschleiss in diesen Kontaktzonen.

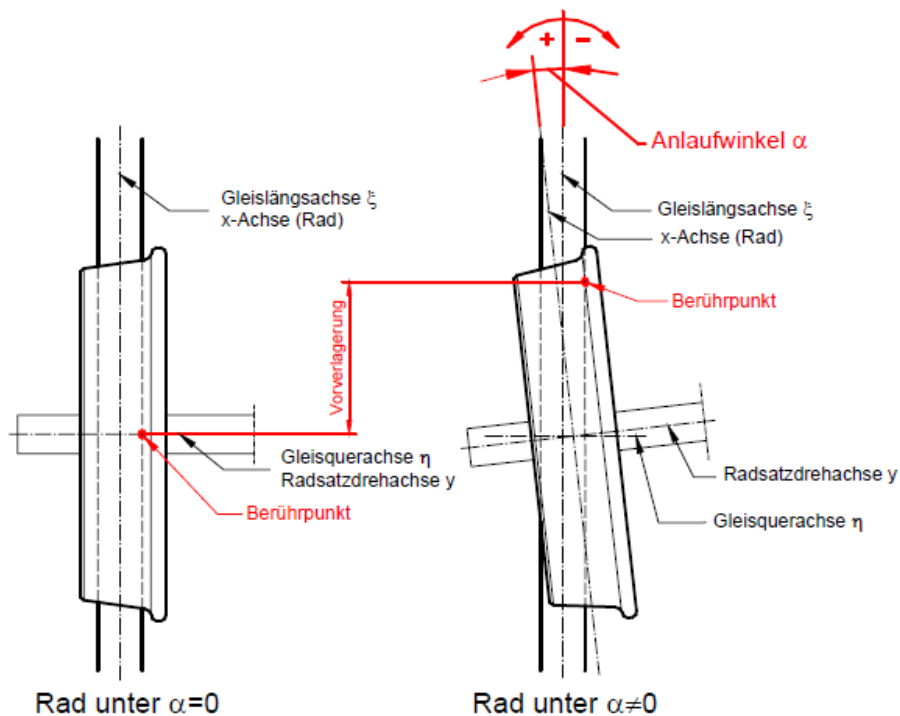


Abbildung 1: Rad unter Anlaufwinkel $\alpha=0$ und $\alpha \neq 0$ [1]

Dieser Verschleiss führt am Rad dazu, dass ein steilerer Spurkranzwinkel entsteht (qR-Mass). Dieser veränderte Winkel hat wiederum einen Einfluss auf die Entgleisungssicherheit an Zungenspitzen der Weichen insbesondere dann, wenn diese in engen Bögen anzutreffen sind und gegen die Spitze befahren werden.

Durch das Fehlen eines Schmierfilms wird der Materialabtrag gegenüber beim geschmierten Zustand massiv vergrößert. In der Literatur wird in diesem Fall vom sogenannten «katastrophalen» Verschleiss gesprochen. Die Abbildung 2 zeigt in roter Farbe den Spurkranzverschleiss und in grüner Farbe den Laufflächenverschleiss.

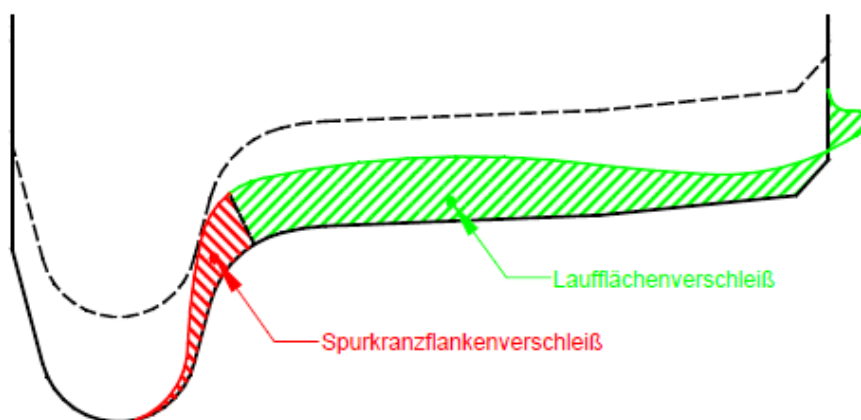


Abbildung 2: Bereiche des Radprofilverschleisses [1]

Neben der Entgleisungsgefahr bei zu kleinem qR-Mass hat der starke Spurkranzverschleiss auch sehr grosse Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit. Je grösser der Spurkranzverschleiss, umso mehr muss der Durchmesser des Rades, bei der Reprofilierung auf dessen Nennmass, abgetragen werden. Die Abbildung 3 zeigt links ein Rad mit deutlich grösserem Verschleiss an der Radlauffläche als am Spurkranz. Auf der rechten Seite ist der Verschleiss am Spurkranz gegenüber der Lauffläche dominant. Um bei der Reprofilierung das Nennprofil wieder herzustellen, muss der Durchmesser des Rades bei

starkem Spurkranzverschleiss deutlich stärker abgetragen werden als bei geringem Spurkranzverschleiss. Dies hat einen signifikanten Einfluss auf den Verschleissvorrat/ die Lebensdauer des Rades. In Abbildung 4 ist dieser Sachverhalt anhand der Reduktion des Radradius in Funktion der Reduktion der Spurkranzdicke im Betriebseinsatz dargestellt. Danach hat bei der Reprofilierung auf das Nennmass eine Reduktion der Spurkranzdicke von 1 mm eine Verringerung des Raddurchmessers um rund 5 mm zur Folge.



Abbildung 3: Rad vor und nach dem Reprofilieren mit geringem (links) und starkem (rechts) Spurkranzverschleiss

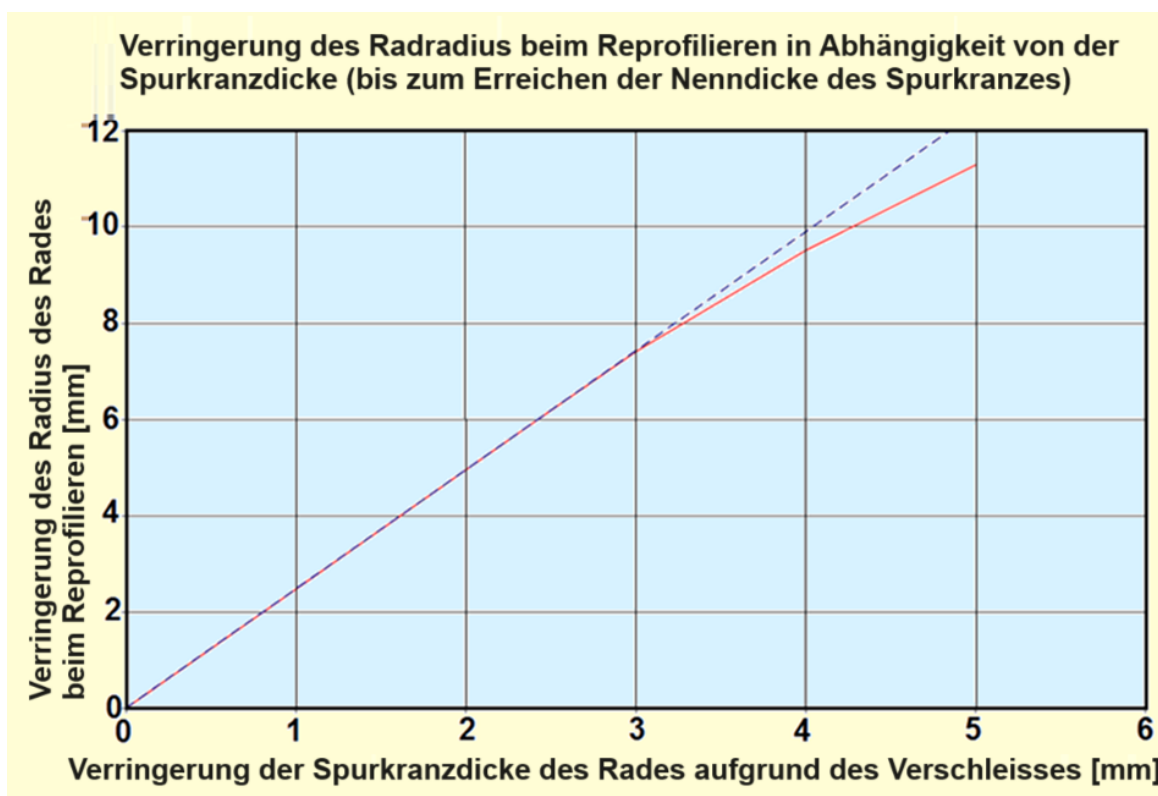


Abbildung 4: Verringerung des Radradius durch Reprofilierung in Abhängigkeit des Spurkranzverschleisses

1.2 Problemstellung und Abgrenzung

In diesem Bericht soll der katastrophal [2] /schnell fortschreitende Spurkranzverschleiss thematisiert werden. Spurkranzverschleiss infolge nicht optimaler Kontaktgeometrie Rad/Schiene wird hier nicht betrachtet. Es ist jedoch sinnvoll die Berührgeometrischen Verhältnisse zu prüfen. Dies ist im Speziellen dann zu tun, wenn kurz vor Auftreten des Spurkranzverschleisses etwas am Gleis verändert wurde wie z.B. Schienen-, Schwellenwechsel oder Reprofilierung der Schiene.

2 Messresultate

2.1 Erklärung der Diagramme zur Verschleissdarstellung an den Rädern

Messmittel: Calipri C42

Auswertung: RBS Excel

In den Diagrammen (hier am Beispiel der Abbildung 5/Abbildung 6 erläutert) zur Darstellung der Profilveränderungen als Folge von Verschleiss stellen Volllinien das gemessene Radprofil dar, wobei jeweils in schwarzer Farbe das R0-Nominalprofil dargestellt ist. Diese Linien werden am Stützpunkt übereinandergelegt. Der Stützpunkt muss so gewählt werden, dass an dieser Stelle nach Möglichkeit kein Verschleiss auftritt und er in einer möglichst parallelen Ebene zur Radsatzachse liegt. Dies ist entweder auf der Spurkranzkuppe oder an der Aussenseite des Radprofils der Fall (im vorliegenden Fall wurde der Stützpunkt nahe der äusseren Radstirnseite gewählt). Die strichpunktierten Linien stellen die radiale Differenz zwischen dem R0-Profil und den nach bestimmten Laufleistungen nach der Reprofilierung gemessenen Profilen (radialer Verschleiss) dar. Anhand des Diagramms Verschleiss im unteren Teil rechts der Abbildung 5/Abbildung 6 ist die Verschleissentwicklung über die Laufleistung ersichtlich. Diese ist jeweils für die beiden dargestellten Radprofile (links und rechts) aufgezeigt. Anhand des max. Wertes kann der Materialabtrag (Durchmesserreduktion der beiden Räder desselben Radsatzes) bei einer Reprofilierung ermittelt werden.

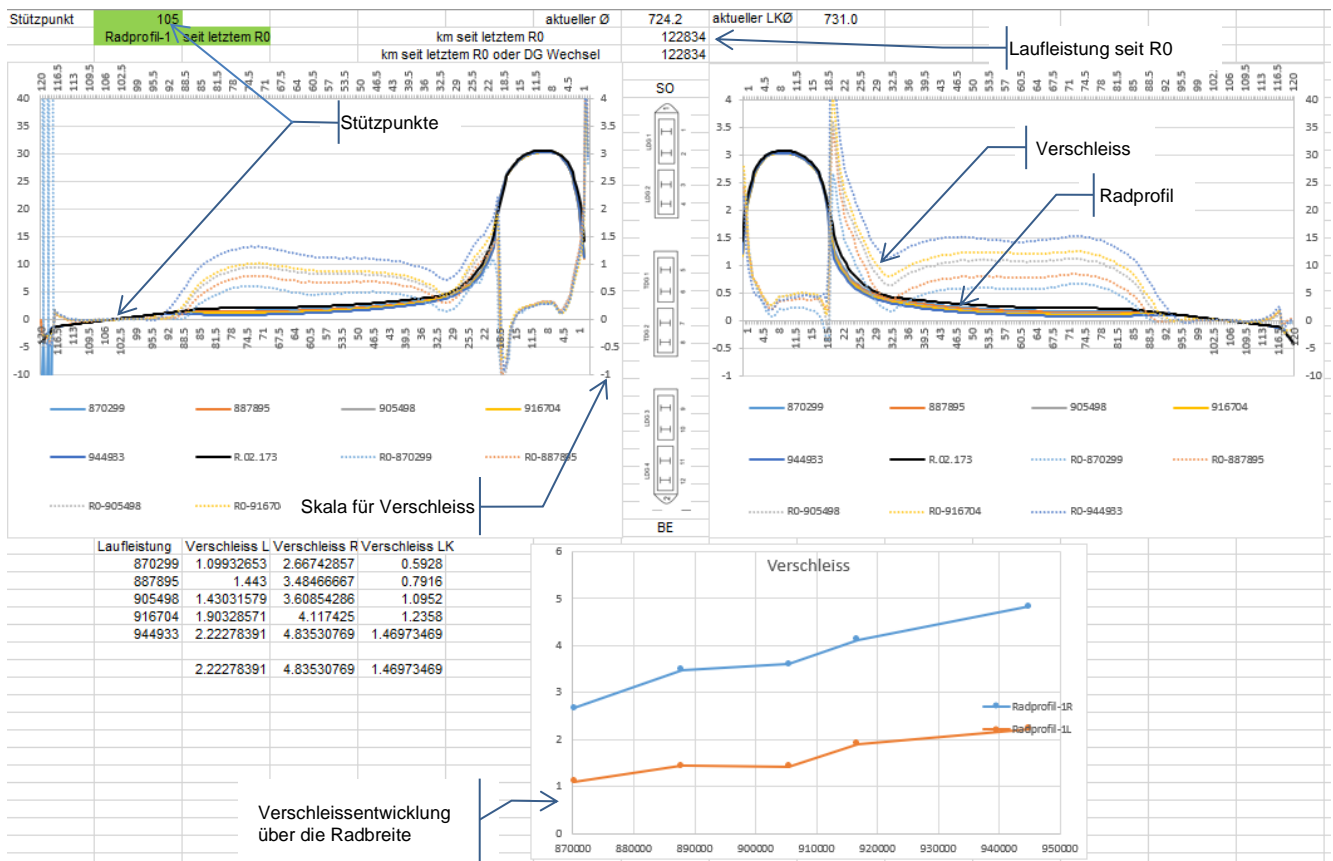


Abbildung 5 Diagrammerklärung

2.2 Verschleissentwicklung an allen Rädern des NEXt 31

In Abbildung 6 bis Abbildung 17 sind jeweils, für jeden Radsatz des NEXt 31 mit zwölf Radsätzen, die Entwicklungen der Radprofile dargestellt. Wie zum Beispiel der Abbildung 6 für den ersten Radsatz entnommen werden kann, fand die Reprofilierung vor der ersten Profilmessung bei 870'299 km statt.

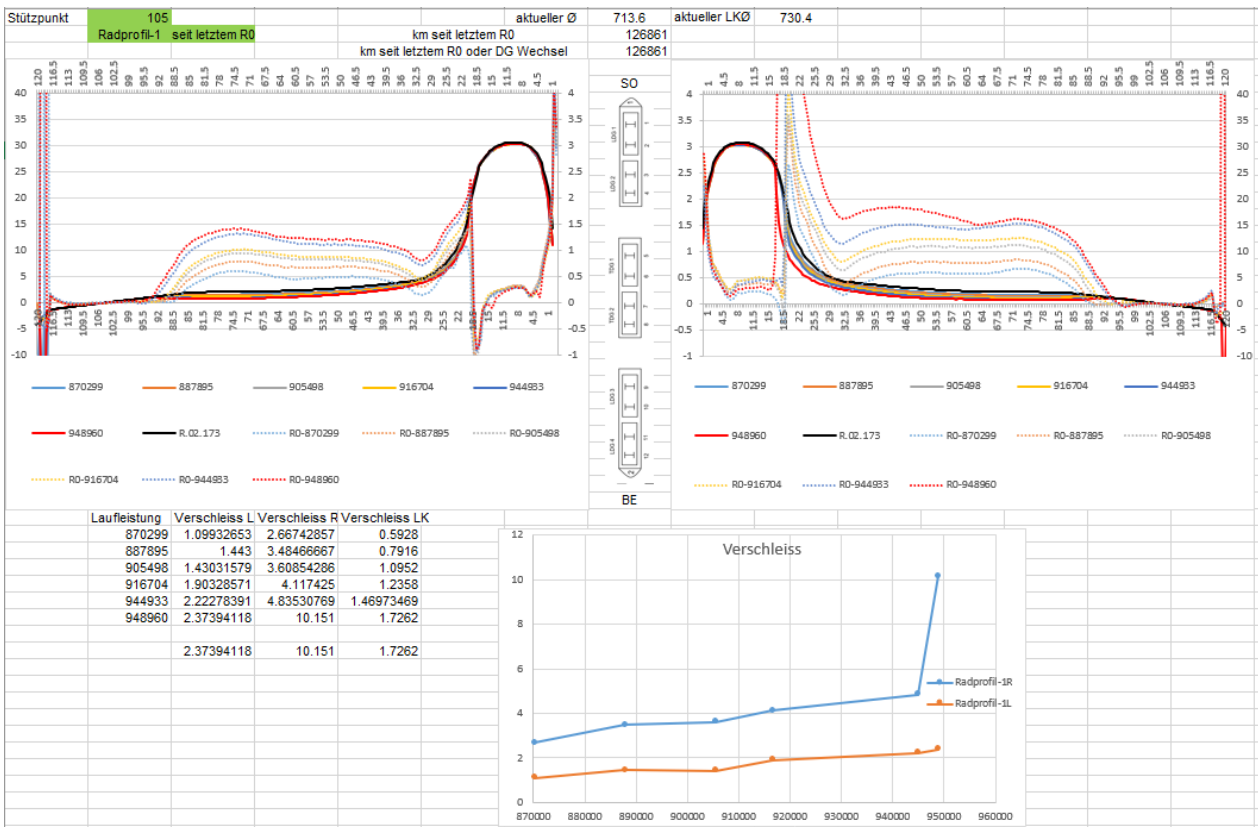


Abbildung 6 Radsatz 1

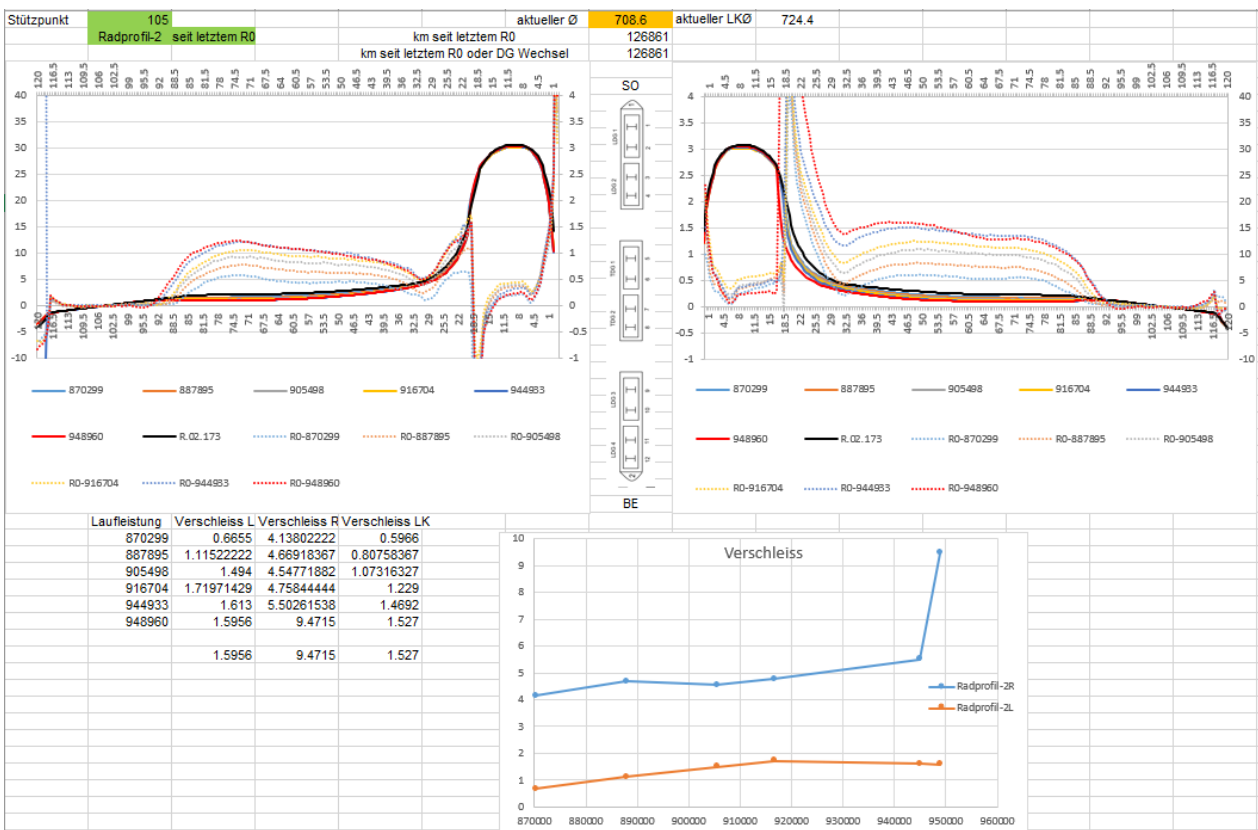


Abbildung 7 Radsatz 2

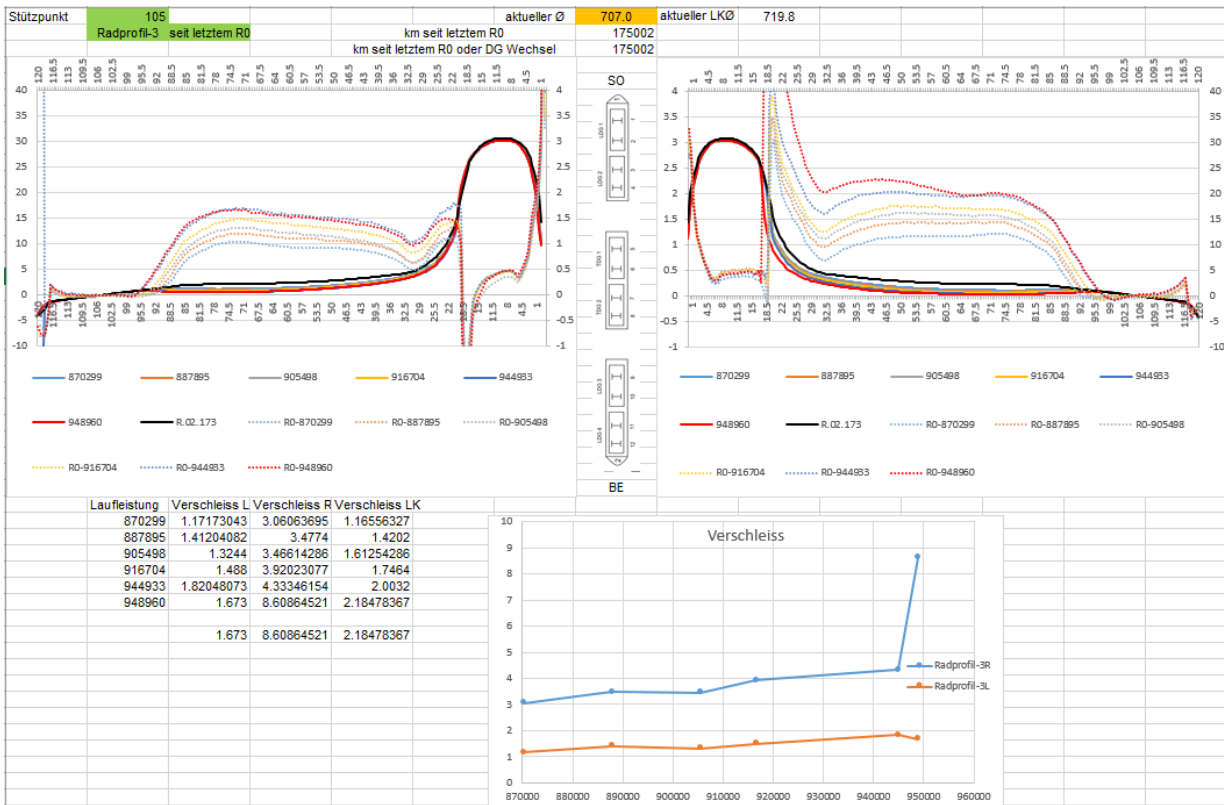


Abbildung 8 Radsatz 3

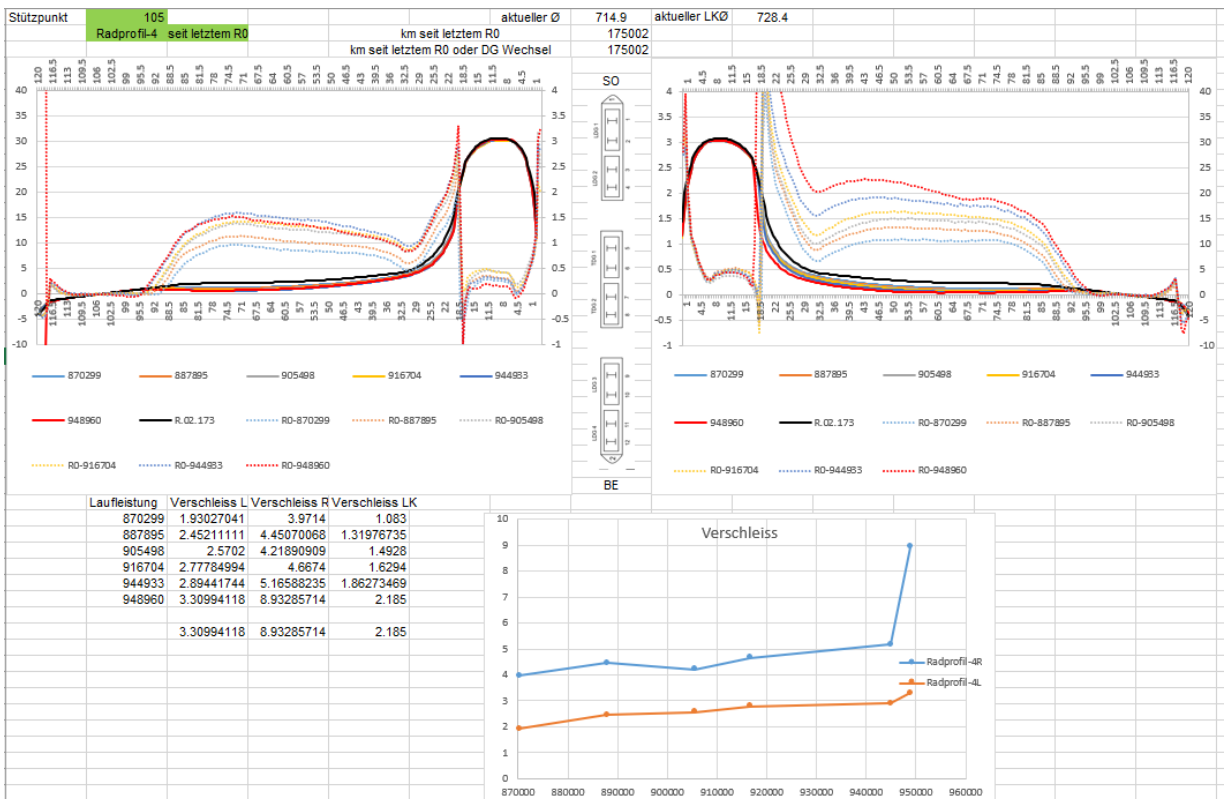


Abbildung 9 Radsatz 4

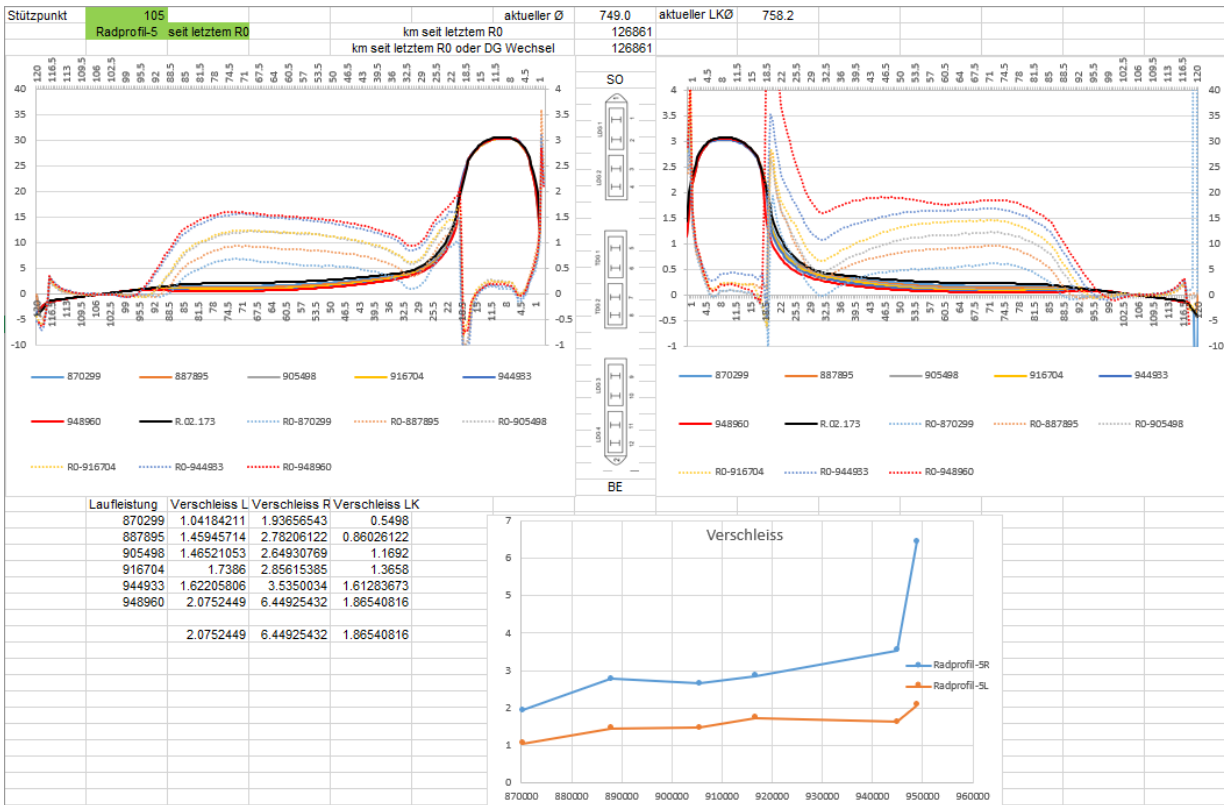


Abbildung 10 Radsatz 5

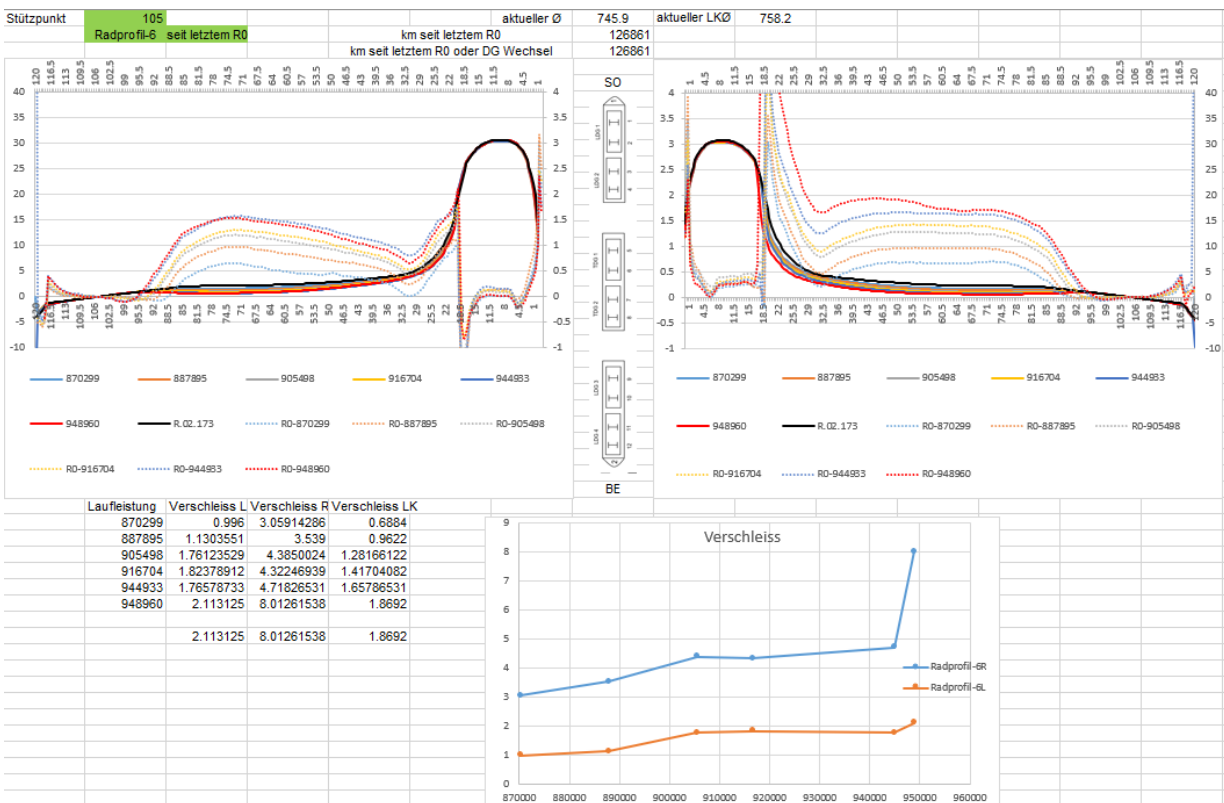


Abbildung 11 Radsatz 6

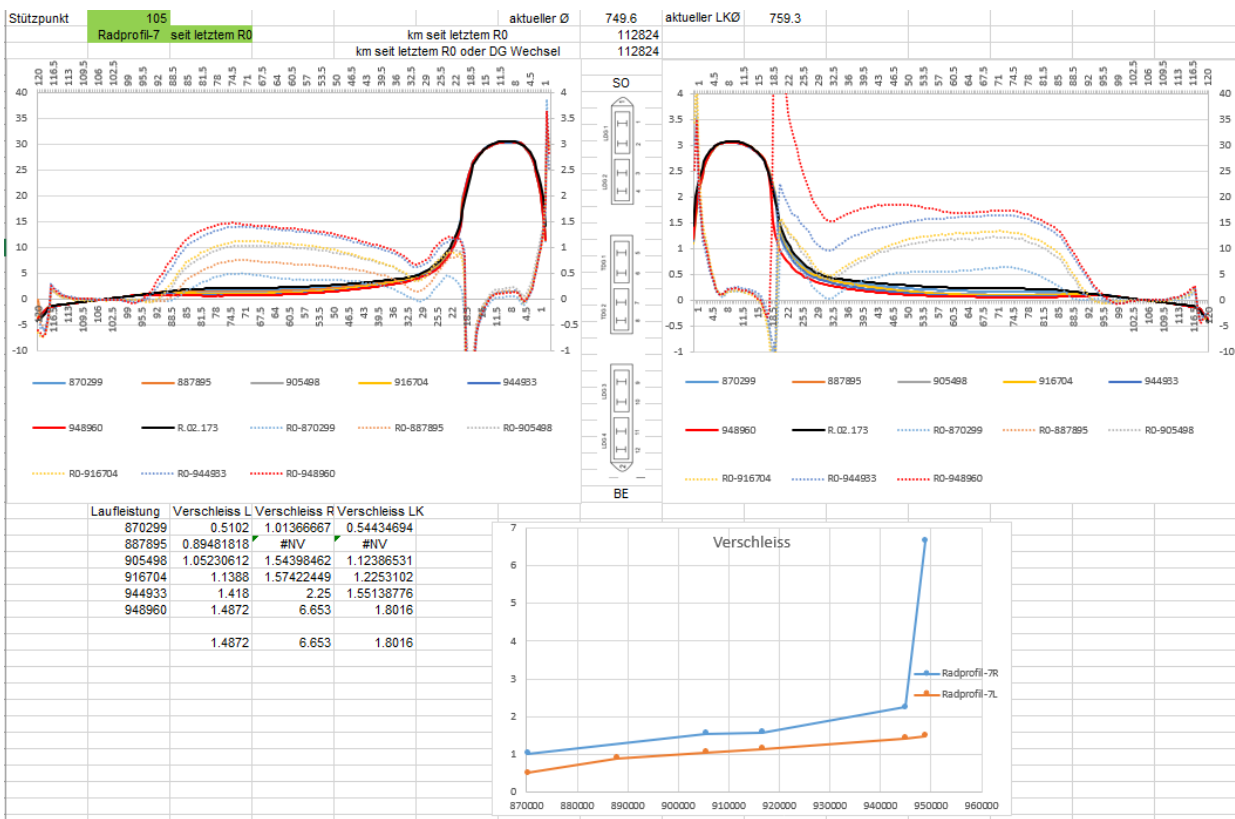


Abbildung 12 Radsatz 7

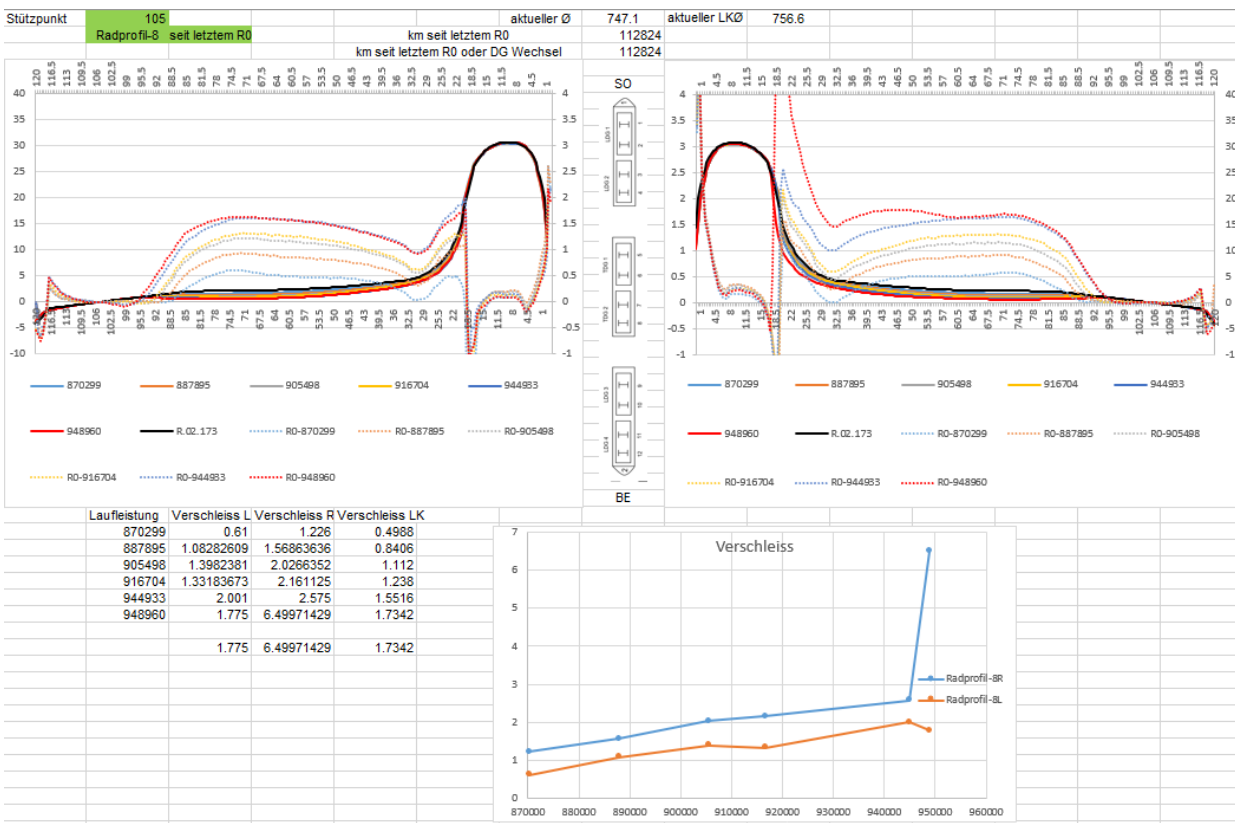


Abbildung 13 Radsatz 8

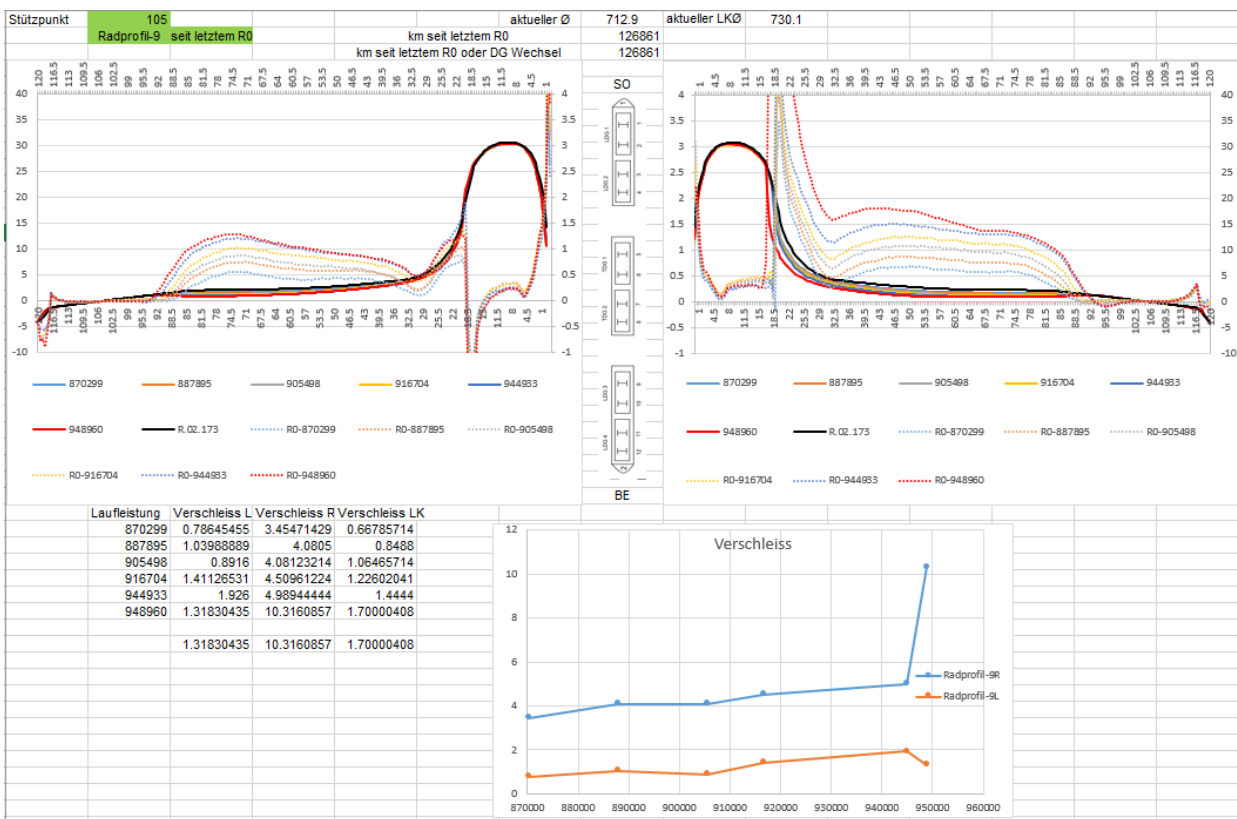


Abbildung 14 Radsatz 9

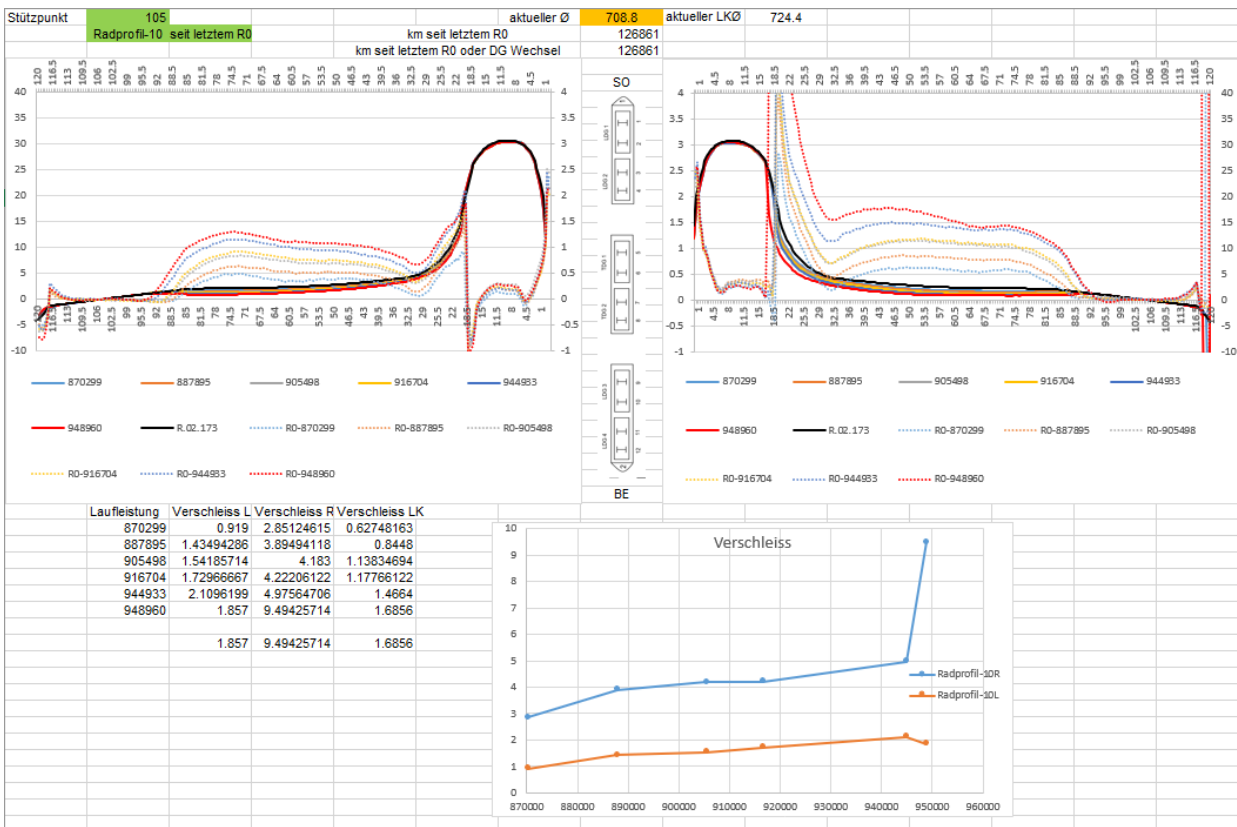


Abbildung 15 Radsatz 10

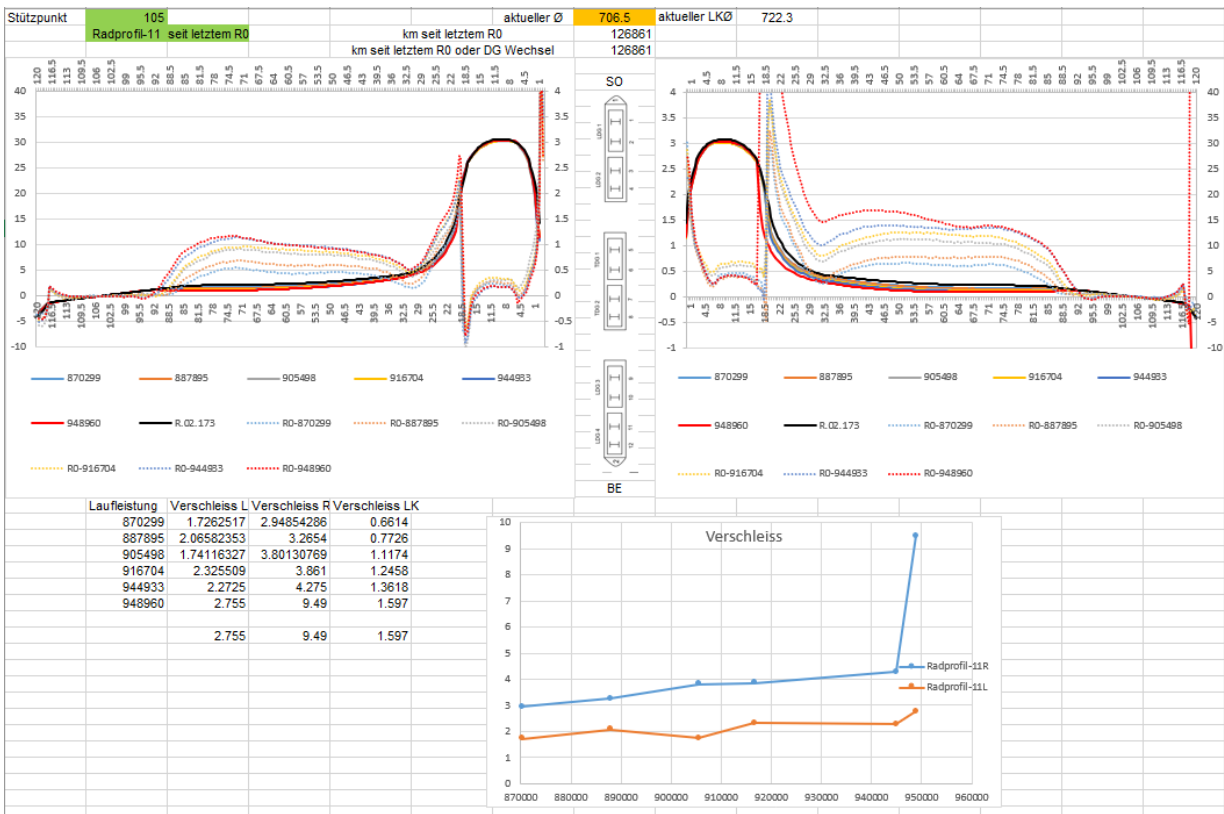


Abbildung 16 Radsatz 11

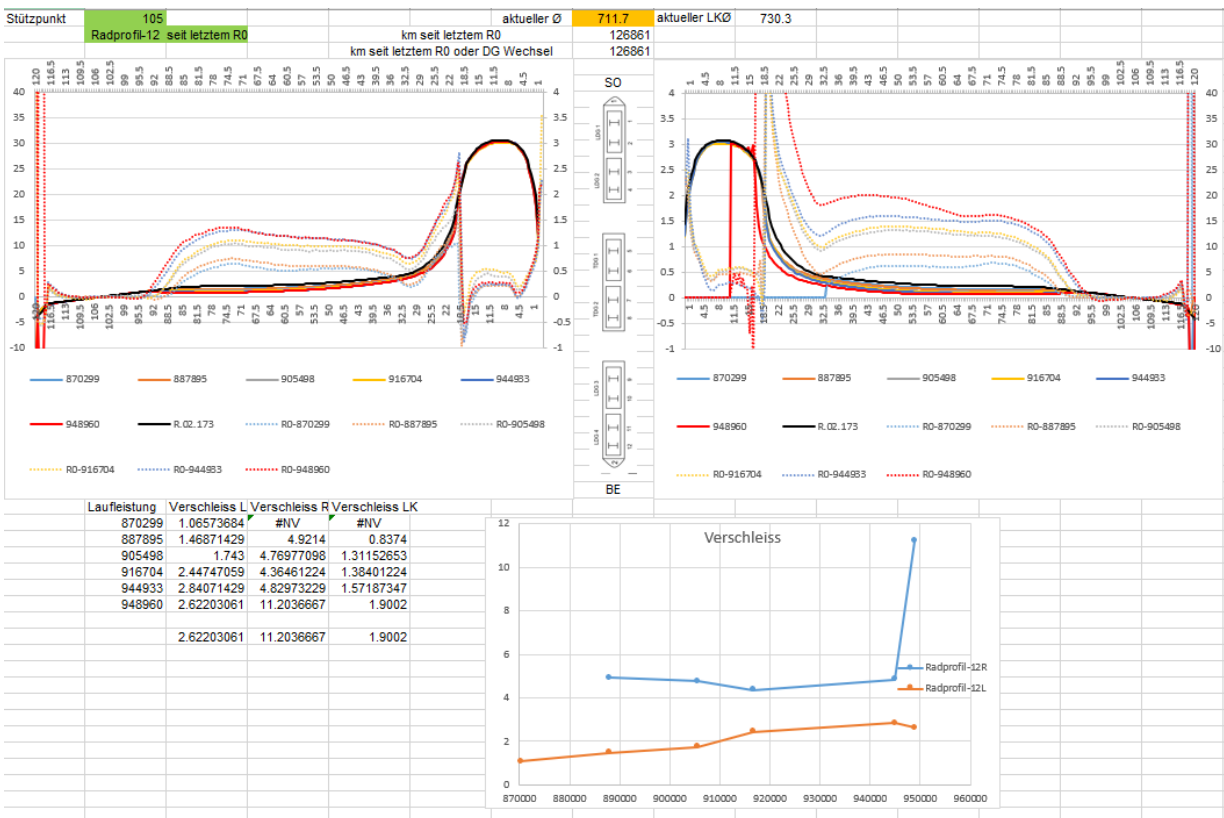


Abbildung 17 Radsatz 12

3 Ergebnisse/Interpretation der Messresultate

3.1 Katastrophaler Spurkranzverschleiss bei RBS im Sommer 2022

Zwischen dem 9.7.2022 und dem 21.8.2022 wurde beim RBS infolge Bauarbeiten die Strecke Bern Solothurn zwischen Jegenstorf und Lohn-Lüterkofen unterbrochen. Infolge dieses Unterbruches kam es bei den Fahrzeugen, die in dieser Zeit nur noch auf der Seite Solothurn im Einsatz waren, zu starkem Spurkranzverschleiss.

Als Beispiel für das Verständnis des aus dieser Veränderung des Fahrzeugeinsatzes resultierenden Radverschleiss kann der Radsatz 12 anhand von Abbildung 18 und Abbildung 19 betrachtet werden. Dieser Radsatz ist in einem Laufdrehgestell verbaut und bildet je nach Fahrtrichtung den ersten oder letzten Radsatz des Zuges. Anhand der beiden Abbildungen kann der laufleistungsabhängige Spurkranzverschleiss der beiden Räder links und rechts verfolgt werden. Es ist bekannt, dass auf der NExT-Flotte die rechten Spurkränze stärker verschleissen als die linken. Dies kann auf die Depotkurve in Solothurn in Fahrtrichtung Solothurn als Linksbogen trassiert zurückgeführt werden (R90m). Dies äusserte sich nach der Reprofilierung bis zur zweiten Messung der Radprofile in einem grösseren Spurkranzverschleiss des rechten Rades gegenüber dem linken Rad. Nach dieser Einlaufphase blieb der Spurkranzverschleiss an beiden Rädern auf dem eingelaufenen Zustand bis zur Messung am 10.07.2022 konstant. In der anschliessenden Zeit hat der Spurkranzverschleiss am rechten Rad innerhalb rund 4'000km enorm stark zugenommen, während er sich am linken Rad nicht verändert hat. Dies kann ausschliesslich auf die Depotkurve in Solothurn zurückgeführt werden. Die Entwicklung des qR-Masses zeigt auch beim rechten Rad als Folge deutlich die Veränderung bei der Steilheit des Spurkränzes.

Radsatz 12							
km	870299	887895	905498	916704	928137	944933	948960
Datum	08.11.2021	06.01.2022	07.03.2022	25.04.2022	25.05.2022	19.07.2022	05.08.2022
max. Verschleiss Spurkranz L	1.1	1.5	1.7	2.4	2.2	2.8	2.6
max. Verschleiss Spurkranz R	0.7	4.9	4.8	4.4	4.8	4.8	11.2
Verschleiss LaufkreisØ L	0.5	0.6	0.9	1.0	1.0	1.2	1.2
Verschleiss LaufkreisØ R		0.8	1.3	1.4	1.4	1.6	1.9

Abbildung 18 Entwicklung radialer Verschleiss am Radsatz 12

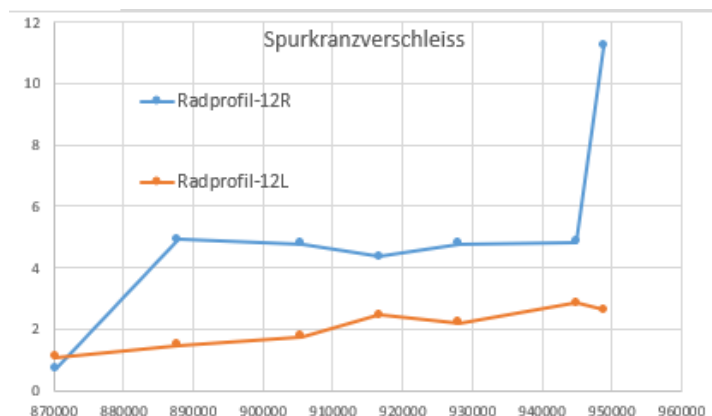


Abbildung 19 Verschleiss über Laufleistung Radsatz 12

Betroffen waren nur die rechten Räder (siehe Abbildung 6 bis Abbildung 17). Es ist bekannt das auf der NExT-Flotte die rechten Spurkränze stärker verschleissen als die linken. Dies kann auf die Depotkurve in Richtung links in Solothurn zurückgeführt werden (R90m). Jedoch war das Ausmass in dieser extremen Ausprägung neu. Die Entwicklung des qR-Masses zeigt auch deutlich die Veränderung bei der Steilheit des Spurkränzes. Die qR-Masse aller rechten Räder des Zuges lagen bei der letzten Messung mit Ausnahme von zwei Rädern unterhalb des Grenzwertes von 4.5mm (Abbildung 20).

km-Stand	Δkm			Δkm	
	928137	16796	944933	4027	948960
	ΔqR			ΔqR	
Radprofil-1R	5.33	-0.12	5.21	-1.52	3.69
Radprofil-2R	5.13	0	5.13	-1.24	3.89
Radprofil-3R	5.61	-0.15	5.46	-1.16	4.3
Radprofil-4R	5.24	-0.14	5.1	-1	4.1
Radprofil-5R	5.73	-0.21	5.52	-0.94	4.58
Radprofil-6R	5.42	-0.09	5.33	-0.94	4.39
Radprofil-7R	5.82	-0.04	5.78	-1.27	4.51
Radprofil-8R	5.55	0	5.55	-1.11	4.44
Radprofil-9R	5.33	-0.18	5.15	-1.48	3.67
Radprofil-10R	5.21	-0.18	5.03	-1.16	3.87
Radprofil-11R	5.39	-0.15	5.24	-1.46	3.78
Radprofil-12R	5.22	-0.13	5.09	-1.73	3.36

Abbildung 20 Entwicklung qR-Mass

Bei genauerer Betrachtung des Rades 12R in Abbildung 21 ist ersichtlich, dass sich der Spurkranverschleiss im normalen Betrieb zwischen 18 und 19 mm ab Radrücken nach anfänglich stärkerer Veränderung stabilisiert bzw. sich einspielt. Danach verändert sich der Radialverschleiss in diesem Bereich kaum. Die Messung nach 948'960 m zeigt nun jedoch starken Spurkranverschleiss und reduziert die Spurkranzdicke schlagartig um ca.3-4mm. Dies führt dazu, dass bei einer Reprofilierung auf das Nominalprofil (R0) sehr viel Material abgedreht werden muss. In diesem Fall sind es über 11 mm im Radius bzw. 22 mm im Durchmesser. Dies macht beim NEXt in etwa 30% des gesamten Verschleissvorrates aus. Normalerweise müssen bei einem Laufdrehgestell beim NEXt alle 230'000 km ca. 5-6 mm im Radius bzw. 10-12 mm im Durchmesser abgedreht werden.

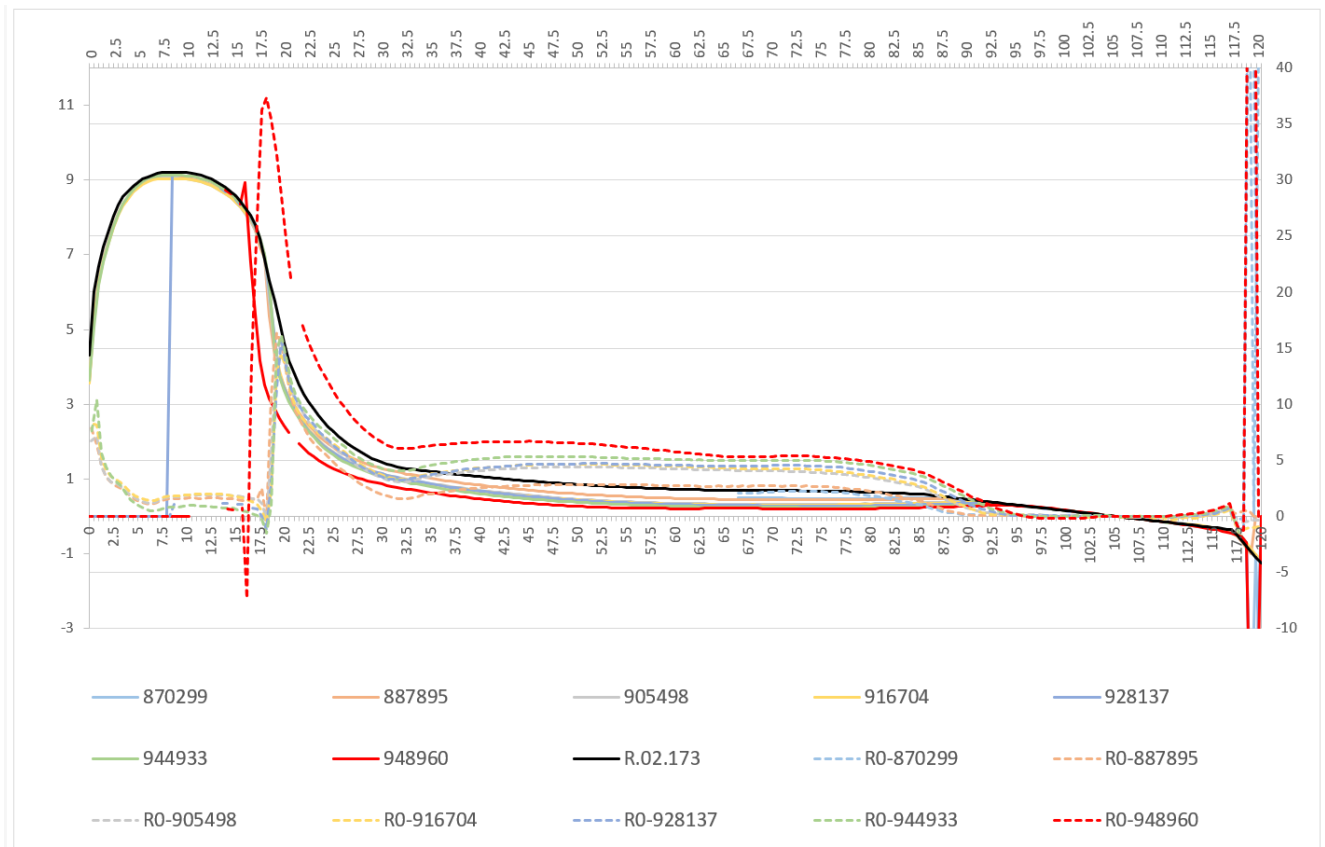


Abbildung 21 Radprofil 12-R

3.2 Ursache

Auf den ersten 3 km ab Solothurn in Richtung Bern ist $v_{\max} < 80$ km/h. In diesem Geschwindigkeitsbereich ist die Spurkranzschmierung aktiv (oberhalb 80 km/h schaltet die Schmierung aus). In diesem Streckenbereich (Solothurn bis Biberist) wurde entsprechend der Fahrgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Einstellung des Schmiersystems alle 1200 m, während 8 s geschmiert. Dies bedeutet, dass auf einer Fahrt lediglich 2x geschmiert wurde. Zwischen Biberist und Lohn-Lüterkofen (km 3 und km 6) wird über 80 km/h gefahren und somit ist die Schmierung inaktiv.

Da bei der Messung vom 19.7.2022 noch keine Veränderung bei der Entwicklung des Spurkranzes erkennbar war und die Meldung, dass die Fahrzeuge lauter sind, welche am 4.8. erfolgte, muss in dieser Zeit der erhöhte Spurkranzverschleiss eingesetzt haben. Die Streckensperrung war vom 9.7.2022 bis 21.8.2022, womit der Schmierfilm noch für mindestens 10 Tage ausgereicht hat, bis die Schienenflanken trocken waren. Anschliessend setzte der katastrophale Spurkranzverschleiss ein. Beispielhaft lässt sich am Radsatz 12 des Fahrzeuges 31 die dazugehörige Entwicklung aufzeigen. Dieser Laufradsatz hatte zum Zeitpunkt der Messung am 5.8.2022 bei 948'960 km eine Laufleistung von 126'861 km seit der letzten Reprofilierung (R0). Bis zur Messung vom 19.7.2022 hat sich der Verschleiss im für das Fahrzeug üblichen Rahmen entwickelt. Ab diesem Zeitpunkt jedoch hat sich der radiale Verschleiss auf nur 4000 km mehr als verdoppelt. Die Meldung einer Lokführerin, dass sich das Fahrzeug aussergewöhnlich laut anhört, hatte dazu geführt, dass das Fahrzeug kontrolliert wurde. Dabei wurden trockene Spurkränze mit abnormalem Verschleiss festgestellt. Die Messung mit Calipri hat ergeben das bei den meisten Radsätzen die qR-Masse unter dem zulässigen Wert von 4.5 mm lagen. Somit wurde das Fahrzeug sofort stillgelegt und die restlichen Fahrzeuge wurden ebenfalls einer ausserordentlichen Messung unterzogen.

Als Ursache wurde die mangelnde Schmierung vermutet. Aus diesem Grund wurde die Schmierung angepasst. Zum einen wurde die Geschwindigkeitsobergrenze für das Ausschalten der Schmierung auf 100 km/h erhöht, womit in der Folge die gesamte Strecke geschmiert wurde und zum anderen das Schmierintervall von 1'200 m auf 600 m halbiert. Daneben wurde die Depotkurve in Solothurn 1-2x täglich von Hand nachgeschmiert. Die Fahrzeuge 31 und 2 weitere mussten in Folge wegen zu kleiner qR-Masse (unter dem Grenzwert von 4.5 m) stillgelegt werden. Bei den im Betrieb verbliebenen Fahrzeugen konnte nach der Wirkung der getroffenen Massnahmen eine unmittelbare Verbesserung des Verschleisses festgestellt werden. Die stillgelegten Fahrzeuge mussten nach Beendigung der Bautätigkeiten unmittelbar einer R0 unterzogen werden, wobei durch die Reprofilierung der Materialvorrat von ca. 300'000 km Laufleistung zusätzlich vernichtet wurde. Alle Fahrzeuge, die auf dem entsprechenden Streckenabschnitt verkehrten, wurden auf ihren Spurkranzverschleiss untersucht und entsprechend diesem für die Durchführung entsprechender Massnahmen eingeplant. Bei gewissen Fahrzeugen musste ein Drehgestellwechsel vorgezogen werden, da die Räder bereits so abgenutzt waren, dass ein Reprofilieren ohne Unterschreiten des Werkgrenzmasses nicht mehr durchgeführt werden konnte.

3.3 Erkennen von katastrophalem Spurkranzverschleiss

Anhand der Erkenntnisse aus diesem Ereignis können folgende Symptome auf erhöhten/katastrophalen Spurkranzverschleiss hindeuten:

Neben dem qR-Mass gibt es verschiedene Anzeichen, die auf einen Zusammenbruch des Schmierfilms und einem einhergehenden katastrophalen Spurkranzverschleisse hindeuten:

- Aussergewöhnlicher Lärm/Geräusche bei der Bogenfahrt;
- Metallabrieb neben der Aussenschiene;
- Trockene Aussenschiene/trockener Spurkranz, metallische glänzende Fahrkante

3.3.1 Aussergewöhnlicher Lärm/Geräusche

Infolge der starken Reibung zwischen Rad und Schiene kann es zu einer stärkeren Lärmbildung kommen. Ebenso kann sich die Art des Geräusches verändern. Hier sind die Hinweise von Anwohnern und Lokführern oder Fahrgästen hilfreich. Diese bemerken in der Regel in einem frühen Stadium

anhand des erhöhten Lärmpegel Symptome für einen verstärkten Spurkranzverschleiss. Die Schwierigkeit liegt darin, diese Veränderung als katastrophalen Spurkranzverschleiss zu identifizieren.

3.3.2 Metallabrieb neben der Aussenschiene

Hat der Verschleiss bereits eingesetzt, bildet sich entlang der kurvenäusseren Schiene glänzender Metalabrieb. Dieser Abrieb wird in der Regel von Streckenläufen oder sonstigen Mitarbeitern des Bahnunternehmens, die sich im Gleisbereich aufhalten, entdeckt. Dabei ist wichtig, dass diese Infos auch zu den Flottenverantwortlichen gelangen, damit diese die Fahrzeuge dahingehend kontrollieren lassen können.

3.3.3 Trockene Aussenschiene, metallische glänzende Fahrkante

Normalerweise bildet sich an der Fahrkante ein Schmierfilm. Fehlt dieser, so glänzt die Fahrkante. Der fehlende Schmierfilm ist einer der Vorboten des Metallabriebs und wird von der gleichen Personengruppe entdeckt wie der Metallabrieb.

4 Gründe für katastrophalen Spurkranzverschleiss

Anhand des aufgezeigten Ereignisses kann es unter gewissen Umständen zu einem Abriss des Schmierfilms am Spurkranz bzw. an der Schienenflanke/Fahrkante und somit zu katastrophalem Spurkranzverschleiss kommen. Verschiedene Szenarien sind denkbar:

- Defekte Anlage auf mehreren Fahrzeugen oder an stationären Anlagen,
- neu gebaute Strecken oder Streckenabschnitte bzw. verlegte Schienen,
- verändertes Fahrschema z.B. Streckenunterbrüche bei Baustellen,
- lange Hitzeperioden.

4.1 Defekte Anlagen

Liegt nur an einem Fahrzeug einer ganzen Flotte ein defekt vor, so wird dies mit grösster Wahrscheinlichkeit nicht dazu führen, dass es zu einer Mangelschmierung der Strecke und damit der gesamten Fahrzeugflotte kommt. Werden jedoch z.B. an der ganzen Fahrzeugflotte die Schmierintervalle geändert so kann dies dazu führen, dass in gewissen Streckenabschnitten im ungünstigsten Fall der Schmierfilm zusammenbricht.

Werden die Schmierintervalle angepasst, so müssen über einen längeren Zeitraum die Fahrzeuge und die Strecken beobachtet werden. Normalerweise bricht nicht auf der gesamten Strecke der Schmierfilm zusammen, sondern nur in Teilabschnitten.

4.2 Neubaustrecke oder geschliffene Streckenabschnitte

Werden in Bögen neue Schienen verlegt oder Bögen in Streckenabschnitten geschliffen (insbesondere bogenäussere Schienen), und hat sich in diesen noch kein Schmierfilm aufgebaut, so ist es erforderlich, manuell eine Erstschmierung vorzunehmen. Zudem kann bei einer ersten Fahrt das entsprechende Fahrzeug auf Dauerschmierung eingestellt werden. Dabei muss aber sichergestellt werden, dass sich dadurch ein ausreichender Schmierfilm einstellt. Andernfalls muss eine angepasste Vorgehensweise gewählt werden. Dabei könnte während der darauffolgenden Nachtschicht (Betriebspause) durch mehrere aufeinanderfolgenden Überfahrten ein Schmierfilm aufgebaut werden.

4.3 Verändertes Fahrschema

Infolge von Streckenunterbrüchen kann es vorkommen, dass der Schmierfilm auf dem noch befahrenen Streckenabschnitt nach einer gewissen Zeit nicht mehr vorhanden ist. Dies kann seine Ursache darin haben, dass auf dem noch befahrenen Abschnitt die Spurkranzschmierung infolge der eingestellten Parameter (Abschalten im geraden Gleis oder im oberen Geschwindigkeitsbereich) nur noch ungenügend schmiert und auch keine Verschleppungseffekte des Schmiermittels mehr stattfinden. Das schwierige hier ist zu erkennen, wann der Effekt der Mangelschmierung überhaupt einsetzt. Zum Beginn des Streckenunterbruchs kann noch ein ausreichender Schmierfilm vorhanden sein, bis dieser aufgebraucht ist.

4.4 Hitzeperiode

Bleiben die Aussentemperaturen über längere Zeit auf konstant hohem Niveau so besteht die Gefahr, dass der Schmierfilm regelrecht von der Schiene abtropft bzw. an der Schienenflanke nicht mehr haftet. An den Schienen sind bei solchen Wetterlagen Temperaturen über 70°C keine Seltenheit. Wird ein Schmiermittel mit einem tiefen Schmelzpunkt verwendet, kann es zu einer Verflüssigung des Schmierstoffes führen. Die Verwendung eines Schmiermittels mit höherem Schmelzpunkt wäre hier eine Lösung. Jedoch werden die Fette in der Regel ganzjährig verwendet und in der Folge kann sich dann im Winter das Problem mit einer schlechten Fördereigenschaft des Schmierstoffes einstellen. In Anbetracht der in den letzten Jahren festgestellten hohen Temperaturen in den Sommermonaten macht es Sinn, das Schmierverhalten einzelner Spurkranzfette in Bezug auf deren Temperaturverhalten hin zu untersuchen.

5 Aufbau eines Schmierfilms

Ist der Schmierfilm an der Fahrkante/Schienenflanke nicht mehr vorhanden, sollte dieser möglichst schnell wieder hergestellt werden, damit es nicht zu katastrophalem Spurkranzverschleiss kommt. Dafür sind mehrere Möglichkeiten denkbar wie zum Beispiel

- lokales Schmieren von Hand,
- schmieren mit einem dafür präparierten Fahrzeug

Je nach Ursache muss abgewogen werden, welches Vorgehen am zielführendsten ist. Bei Hitzeperioden reicht es unter Umständen bereits, die Schmierintervalle anzupassen, sprich häufiger oder länger zu schmieren. Ebenso bei geändertem Fahrschema. Wichtig ist jedoch, dass bei jeder getroffenen Massnahme die Wirkung der Schmierung sowohl an den Fahrzeugen wie auch an der Schiene über eine ausreichend lange Zeit kontrolliert wird. Wichtig ist jedoch, dass diese Kontrollen in kurzen Zeitabständen durchgeführt werden.

5.1 Lokales Schmieren von Hand

Das Schmieren von Hand (Initialschmierung auf kurzen Streckenabschnitten) ist in der Regel eine Sofortmassnahme. Es ist jedoch davon auszugehen, dass einmaliges Schmieren das Problem nicht löst. Speziell dann, wenn infolge von z.B. geändertem Fahrschema die Ursache weiterhin besteht. In diesem Fall muss mehrmals geschmiert werden. Je nach Taktfrequenz kann dies auch mehrmals täglich erforderlich sein. Daher ist das lokale Schmieren von Hand meistens nur als Sofortmassnahme sinnvoll und es sollte eine Anpassung der Schmierintervalle bei den Fahrzeugen zusätzlich in Betracht gezogen werden.

Wird die Schiene bogenaussern von Hand geschmiert ist es wichtig, dass die Schienenflanke geschmiert wird und nicht die Fahrfläche im Bereich der Schulter bzw. der Fahrkante. Als Schmiermittel sollte das gleiche Mittel wie bei der Spurkranzschmierung verwendet werden.

5.2 Präpariertes Fahrzeug zum Schmierfilmaufbau

Beim präparierten Fahrzeug werden die Schmierparameter auf einem oder allenfalls mehreren Fahrzeugen angepasst. Zum einen kann dies bedeuten, dass die Parameter über längere Zeit angepasst bleiben. Dies vor allem dann, wenn die Fahrzeuge im normalen Betriebseinsatz unterwegs sind. Bei Neubaustrecken oder neu verlegten Schienen kann es Sinn machen, mit einem Fahrzeug, welches auf Dauerschmierung eingestellt ist, die Strecke mehrmals bis zum Aufbau eines ausreichenden Schmierfilms zu befahren und gleichzeitig den Schmierfilm an der Schiene zu verfolgen.

6 Ausblick

Die Schmierung von Hand ist zwar als Sofortmassnahme zweckmässig. Mit dieser Methode besteht aber die Gefahr, dass damit die aufzubringende Schmiermenge schwer dosierbar ist und die Gefahr besteht, dass das Schmiermittel durch den Kontakt mit dem Spurkranz auf die Fahrflächen verdrängt wird. Zudem bestehen Zweifel hinsichtlich der Nachhaltigkeit einer einmaligen Schmierung sodass mehrmals nachgeschmiert werden muss. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Initialschmierung mit einem dafür präparierten Fahrzeug durchzuführen. Wie viele Überfahrten mit einem solchen Fahrzeug über die ganzen Bogenlängen zum Aufbau des Schmierfilms nötig sind, ist derzeit nicht definierbar. Um gesicherte Angaben für die Initialschmierung bei den Meterspurbahnen in einem für die Schmierung anzuwendenden Regelwerk machen zu können, müssen entsprechende Untersuchungen durchgeführt werden.

7 Verzeichnisse

7.1 Referenzen

- [1] Kiessner Thomas, Ritscher Udo, Diplomarbeit: Untersuchung zur Übertragung der Ergebnisse aus ORE C 70 auf Meterspurbahn der Schweiz
- [2] Ulf Olofsson, Yi Zhu, Saeed Abbasi, Roger Lewis, Stephen Lewis: Tribology of the wheel-rail contact – aspects of wear, particle emission and adhesion. Vehicle System Dynamics; Special Issue: State of Art Papers of the 23rd IAVSD in 2013

7.2 Abbildungen

Abbildung 1: Rad unter Anlaufwinkel $\alpha=0$ und $\alpha \neq 0$ [1].....	8
Abbildung 2: Bereiche des Radprofilverschleisses [1].....	8
Abbildung 3: Rad vor und nach dem Reprofilieren mit geringem (links) und starkem (rechts) Spurkranzverschleiss.....	9
Abbildung 4: Verringerung des Radradius durch Reprofilierung in Abhängigkeit des Spurkranzverschleisses.....	9
Abbildung 5 Diagrammerklärung.....	10
Abbildung 6 Radsatz 1.....	11
Abbildung 7 Radsatz 2.....	11
Abbildung 8 Radsatz 3.....	12
Abbildung 9 Radsatz 4.....	12
Abbildung 10 Radsatz 5.....	13
Abbildung 11 Radsatz 6.....	13
Abbildung 12 Radsatz 7.....	14
Abbildung 13 Radsatz 8.....	14
Abbildung 14 Radsatz 9.....	15
Abbildung 15 Radsatz 10.....	15
Abbildung 16 Radsatz 11.....	16
Abbildung 17 Radsatz 12.....	16
Abbildung 18 Entwicklung radialer Verschleiss am Radsatz 12.....	17
Abbildung 19 Verschleiss über Laufleistung Radsatz 12.....	17
Abbildung 20 Entwicklung qR-Mass.....	18
Abbildung 21 Radprofil 12-R.....	18

