



## Änderungsverzeichnis

Fassung	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	19.10.2023	Gaël Vuillème	Vorentwurf
0.2	25.10.2024	Gaël Vuillème	Gesamtentwurf
0.3	28.02.2024	Gaël Vuillème	Redigierter und bereinigter Bericht
0.3	28.02.2024	Roland Müller	Prüfung
0.4	23.03.2024	Roland Müller	Korrektur der Übersetzung
1.0	25.04.2024	Friedrich-Christian Walther	Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter

## Freigabe durch Systembeherrschung

Fassung	Verantwortlich	Datum
1.0	Technical Board	23.05.2024
1.0	Management Board	13.06.2024

## Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

## Abkürzungsverzeichnis

C1-C4	Kontrollen zur Gewährleistung der Sicherheit gemäss AB-EBV
CAF	Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles – Hersteller für Schienenfahrzeuge
CGUM	Computergestütztes Unterhaltsmanagement (zum Beispiel mit SAP oder Zedas)
LK	Laufkreis
LO	Lieferobjekt
MOB	Compagnie du Chemin de Fer Montreux Oberland bernois SA
GPX	Golden-Pass-Express
R0	Reprofilierung der Radsätze
RBS	Regionalverkehr Bern-Solothurn AG
RhB	Rhätische Bahn AG
RTE	Regelwerk Technik Eisenbahn
SAP	Systemanalyse Programmentwicklung - Betriebswirtschaftliches Standardsoftwarepaket
UFD	Unterflurdrehmaschine
ÜMA	Überfahrmessanlage

## Management Summary

In diesem Dokument wird die Überwachung des Zustandes der Räder des Tramunternehmens BERNMOBIL und der drei Meterspurbahnen MOB, RBS und RhB vorgestellt. Sie gehören zu den fortschrittlichsten, was die Analyse der Entwicklung des Verschleisses an Rädern betrifft. Beschrieben werden die Arbeitsschritte: Messung, Analyse des Verschleisses und Schäden an Rädern. Diese Analyse dient heute dem Unterhalt, hauptsächlich für die Planung der Reprofilierung und den Ersatz der Räder oder Radreifen, aber auch der Überwachung des Verschleisses. Die Daten werden hingegen aktuell von keinem dieser Transportunternehmen analysiert, um die Interaktion zwischen Schiene und Rad zu verstehen oder zu verbessern.

BERNMOBIL verfügt über eine Messinstallation in der Unterhaltswerkstatt (Überfahrmessanlage), welche die Daten der Radprofile radscharf direkt an das SAP übermittelt. Das Unternehmen hat über eine Website eine Schnittstelle entwickelt, über die die Sicherheitsgrössen der Flotte und die Verschleissraten nachverfolgt werden können. In der gleichen Grafik können zwei Grössen angezeigt werden, um nach Korrelationen oder gemeinsamen Ursachen zu suchen.

Die MOB verwendet Excel-Tabellenkalkulationen, um die Entwicklung des Verschleisses sowie die Tiefe und den Bereich des Hohllaufs aus der Punktwolke der Profile zu überwachen. Mit diesen Daten können die Reprofilierungen und der Ersatz der Räder bzw. Radreifen geplant werden. Andererseits berechnet die MOB aus der Messung auf der Unterflurdrehmaschine vor der Reprofilierung den minimal erforderlichen Durchmesserabtrag an den Rädern, um das entsprechende Profil für die Reprofilierung auszuwählen (zwei unterschiedliche Profile stehen dafür zur Auswahl). Und schliesslich ermöglicht eine separate Datei die Sicherheitsgrössen des Profils konform zu den massgebenden RTE's der Normal- und Meterspur zu berechnen. Diese Datei wurde speziell für die Fahrzeuge mit Drehgestellen für variable Spurweite eingeführt und ist notwendig, da mit dem Messgerät nur eine der beiden Spurweiten gemessen werden kann. Die Daten stammen aus manuellen Messungen (CALIPRI Wheel), die je nach Fahrzeugtyp in Intervallen von einem bis sechs Monaten durchgeführt werden.

Bis Ende 2023 verwendete die MOB das Programm A.U.R.A. Wheel, welches von NEM-Solutions und zeitweise auch mit dem Hersteller der CALIPRI-Geräte (NEXTSENSE, heute HEXAGON) entwickelt worden ist und von CAF Digital Services vertrieben wird, mit dem die Profile angezeigt und die Entwicklung der verschiedenen Grössen überwacht werden konnten. Das Produkt wurde durch den Hersteller weiterentwickelt und wegen der damit verbundenen Preiserhöhung wurde auf dessen Weiterverwendung verzichtet.

Die Daten von RBS stammen ebenfalls aus CALIPRI-Messungen, die alle zwei Monate (20'000 km) durchgeführt werden. Die Analyse erfolgt in Excel-Tabellenkalkulationen. Zweck ist die Planung der Reprofilierungen und Revisionen sowie die Überwachung des Verschleisses. Das gesamte Profil jedes Rades und dessen Entwicklung werden damit analysiert. Gleichzeitig kann damit der minimale Verlust bei der Reprofilierung auf der Unterflurdrehmaschine (UFD) ermittelt werden. Der Verschleiss in der Laufkreisebene sowie die Sicherheitsgrössen werden überwacht. Deren Fortschritt wird prognostiziert und für die Planung der Instandhaltung verwendet.

Die RhB verfügt über zwei Messinstallationen im Gleis auf offener Strecke. Die Datenqualität reicht derzeit für eine zuverlässige Analyse nicht aus. Die Planung der Reprofilierungen und des Ersatzes der Räder und Radreifen erfolgt aufgrund von mittleren Verschleisswerten, die aus der Durchmessermessung auf der UFD stammen. Für die neuste Flotte ist der Verschleisswert des Durchmessers im Lastenheft festgelegt. Die Profile werden deshalb manuell mit einem OPTIMESS-Gerät gemessen und der Durchmesserabtrag im Betrieb wird anschliessend in einer Excel-Tabelle analysiert.

Schäden können während der Fahrt vom Fahrpersonal (Feststellung von Lärm oder Instabilitäten) oder vom Werkstattpersonal (Feststellung von Lärm von aussen bei der Durchfahrt des Fahrzeuges) oder bei Stillstand (Sichtprüfung) entdeckt werden. Die Schäden werden in der Regel aufgrund von Erfahrung oder gemäss RTE 41500 (Unterhalt der Meterspur-Radsätze) oder RTE 41000 (Normalspur) bewertet, wobei letztere vollständiger ist als jene für die Meterspur.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>BERNMOBIL</b> .....	<b>6</b>
2.1	Analyse der Profile .....	6
2.2	Analyse der Schäden .....	7
<b>3</b>	<b>MOB</b> .....	<b>8</b>
3.1	Analyse der Profile .....	8
3.1.1	<i>Prozess</i> .....	8
3.1.2	<i>Messung mit CALIPRI</i> .....	8
3.1.3	<i>Auswertung mit A.U.R.A. Wheel</i> .....	9
3.1.4	<i>Auswertung mit Excel</i> .....	10
3.1.5	<i>Sonderfall Golden-Pass-Express (GPX)</i> .....	12
3.1.6	<i>Hohllauf-Auffälligkeiten</i> .....	13
3.2	Analyse der Schäden .....	13
<b>4</b>	<b>RBS</b> .....	<b>14</b>
4.1	Analyse der Profile .....	14
4.1.1	<i>Prozess</i> .....	14
4.1.2	<i>Messung mit CALIPRI</i> .....	14
4.1.3	<i>Auswertung mit Excel</i> .....	15
4.2	Analyse der Schäden .....	18
<b>5</b>	<b>RhB</b> .....	<b>19</b>
5.1	Analyse der Profile .....	19
5.1.1	<i>Prozess</i> .....	19
5.1.2	<i>Messung mit Überfahrmessanlage</i> .....	19
5.1.3	<i>Messung mit OPTIMESS</i> .....	20
5.1.4	<i>Auswertung mit Excel</i> .....	20
5.1.5	<i>Hohllauf-Auffälligkeiten</i> .....	21
5.2	Analyse der Schäden .....	21
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung</b> .....	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>23</b>
7.1	Referenzen .....	23
7.2	Abbildungen .....	23

## 1 Einleitung

Im Modul 5 «*Hard-/Software für Erfassung, Auswertung und Bewertung Interaktion*» werden die Geräte und Tools für die Messung und Analyse des Verschleisses an den Rädern und Schienen sowie der Schäden auf den Kontaktflächen Rad/Schiene beschrieben. Das vorgängige Lieferobjekt (LO) 5.1.1 beschreibt die bei den Meterspurbahnen verwendeten Messgeräte.

Dieses Dokument, LO 5.1.2, beschreibt die Analyse-Tools der aufgenommenen Messdaten anhand von Beispielen ausgewählter Bahnen. Auch wenn die Unternehmen die Sicherheitsgrössen des Radprofils überwachen, endet bei einigen von ihnen die Interpretation der Daten schon hier. Andere analysieren die Verschleissrate im Laufkreis, die Spurkranzhöhe und den Raddurchmesser für die Planung der Reprofilierungen und des Ersatzes von Vollrädern bzw. Radreifen. Auch hier ist der Anteil an Handarbeit oder Automatisierung sehr unterschiedlich.

In Anbetracht dieser Vielfalt und der bestehenden Unterschiede, können die Verfahren für die Messung und Analyse des Verschleisses und der Schäden an Rädern nur anhand einer Stichprobe dargestellt werden. Dafür wurden die Unternehmen BERNMOBIL, MOB, RBS und RhB ausgewählt.

Alle ausgewählten Eisenbahnunternehmen verfügen über eine ausreichend grosse Flotte, um das Bedürfnis zu verspüren die Verschleissdaten für die Unterhaltsplanung zu analysieren. Diese Entwicklung ist neu und findet in der Regel in den Transportunternehmen selbst und immer unabhängig von den anderen Bahnen statt. Sie ergibt sich aus einem Bedürfnis für die Unterhaltsplanung, nicht aus einer Studie über die Interaktion zwischen Rädern und Schienen.

## 2 BERNMOBIL

### 2.1 Analyse der Profile

Historisch gesehen verwendet BERNMOBIL lediglich eine Excel-Datei, in der die gemessenen Durchmesser bei der Reprofilierung (alle 80'000 km und später alle 60'000 km) enthalten sind. Seit 2013 werden 8 Fahrzeuge alle zwei Monate mit einem manuellen optischen Messgerät (OPTIMESS) der Firma Dr. D. Wehrhahn gemessen. Für die Messung an einem Fahrzeug waren zwischen 4 und 5 Arbeitsstunden erforderlich. Die Daten werden manuell in eine Tabelle eingetragen, um Verschleissprognosen für den Durchmesser zu erstellen. Die übrigen 28 Fahrzeuge werden wie bisher überwacht.



Abbildung 1: Überfahrmessanlage von TALGO für die Radprofile. [1]

2014 wird eine Überfahrmessanlage (ÜMA) von TALGO eingebaut (Abbildung 1). Die Daten werden an das SAP übermittelt und erscheinen auf der Web-Schnittstelle «Cockpit», die von BERNMOBIL entwickelt wurde. Die Warnungen werden so angezeigt, dass sie je nach Fahrzeug und Zeithorizont gefiltert werden können (Abbildung 2). Die Entwicklung der Sicherheitsgrössen kann auch nach den Laufleistungen überwacht werden. Für den Verschleissgrad sind ebenfalls Warnwerte festgelegt.

**BERNMOBIL**  
ZUSAMMEN UNTERWEGS

Datum der Messung

Tram



**1**  
heutige Alarme

**299**  
Alarme in den letzten 30 Tagen

**05/11/2023**  
neustes Update

**Alarm Übersicht**

Datum der Messung	km	Tram	Fahrwerk	Achse	Hinweis
Sonntag, 5. November 2023	952997	1651	1		Abweichung Spurkränze / Wert=1.66
Donnerstag, 2. November 2023	904834	1670	4		Abweichung Spurkränze / Wert=1.8
Mittwoch, 1. November 2023	987481	1654	4		Abweichung Spurkränze / Wert=1.65
Mittwoch, 1. November 2023	987481	1654	4	8	Die maximale Abnutzung des Spurkranzes hinten rechts pro km wurde überschritten / Wert=-0.00097
Samstag, 28. Oktober 2023	1163321	1764	3		Abweichung Spurkränze / Wert=2.21
Freitag, 27. Oktober 2023	1343200	1752	1		Abweichung Spurkränze / Wert=1.92
Freitag, 27. Oktober 2023	1343200	1752	2		Abweichung Spurkränze / Wert=2.07
Freitag, 27. Oktober 2023	1343200	1752	3	6	Die maximale Abnutzung des Spurkranzes hinten rechts pro km wurde überschritten / Wert=-0.00138
Freitag, 27. Oktober 2023	1343200	1752	4		Abweichung Spurkränze / Wert=2.5
Freitag, 27. Oktober 2023	891844	1663	4		Abweichung Spurkränze / Wert=1.89
Donnerstag, 26. Oktober 2023	957329	1653	2		Abweichung Spurkränze / Wert=1.6
Donnerstag, 26. Oktober 2023	957329	1653	3		Abweichung Spurkränze / Wert=1.66
Dienstag, 24. Oktober 2023	1311106	1758	2		Abweichung Spurkränze / Wert=1.53
Dienstag, 24. Oktober 2023	1311106	1758	2		Die Streuung der Spurkränze nach dem Drehbank ist zu gross / Wert=0.6305

[zur Detailsicht](#)

Abbildung 2: Datenlese-Schnittstelle. Darstellung der Alarm- und Warnmeldungen

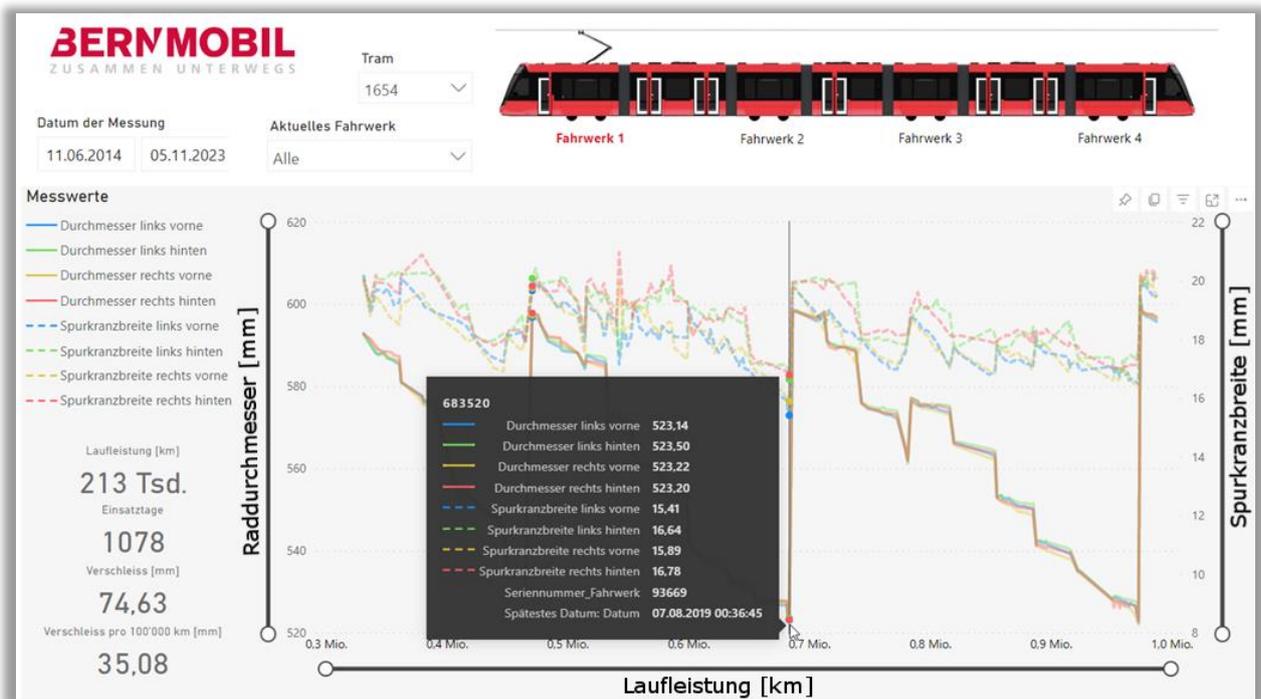


Abbildung 3: BERNMOBIL-Schnittstelle für die Analyse des Verschleisses an den Rädern. Raddurchmesser (durchgezogene Linie; Achse links) und Spurkranzdicke (gestrichelt; Achse rechts) über der vom Fahrzeug zurückgelegten Distanz. Bei der Reprofilierung verringert sich der Durchmesser sofort und die Spurkranzdicke wird an allen Rädern wieder identisch. Die Zunahme des Durchmessers bedeutet ein Radsatztausch.

Mit der Cockpit-Schnittstelle kann auch die Entwicklung der Parameter nach der Laufleistung des Fahrzeuges ausgewertet werden (Abbildung 3). Mit diesen Informationen können die Reprofilierungen und der Ersatz der Räder besser geplant werden. Ausserdem kann der Verschleiss schnell entdeckt werden, wenn er einen annehmbaren Wert übersteigt.

## 2.2 Analyse der Schäden

Die Schäden werden bei den wöchentlichen akustischen Kontrollen entdeckt. Ein Werkstattangestellter hört die Durchfahrt aller Trams an einer Stelle ab, an der alle Linien zusammentreffen. Die Infrastruktur (System Edilon) ist dort sehr gut und in diesem Zeitabschnitt verkehrt dort die gesamte Flotte in beiden Richtungen. Gelegentlich wird ein Mangel auch vom Fahrpersonal oder einer aufmerksamen Person gemeldet, die zu Fuss unterwegs ist. Bei den entdeckten Tönen handelt es sich um Brummen, Schlaggeräusche und weitere Abnormalitäten. Dieses Vorgehen wurde 2015 eingeführt und BERNMOBIL hat mit diesem System sehr gute Erfahrungen gemacht. Die Analyse der Schäden stützt sich auf Erfahrung.

## 3 MOB

### 3.1 Analyse der Profile

#### 3.1.1 Prozess

Das Grundscheema der Analyse des Verschleisses und der Schäden an den Rädern ist in Abbildung 4 dargestellt. Hauptzweck sind der vorbeugende Unterhalt sowie die Suche nach den Ursachen bei aussergewöhnlichem Verschleiss. Heute wird A.U.R.A. Wheel nicht mehr verwendet, die ganze Analyse erfolgt über Excel. Je nach den Messungen und Beobachtungen kann der Unterhaltsplan angepasst werden, zum Beispiel indem der Abstand zwischen den Kontrollen verkürzt oder verlängert wird.

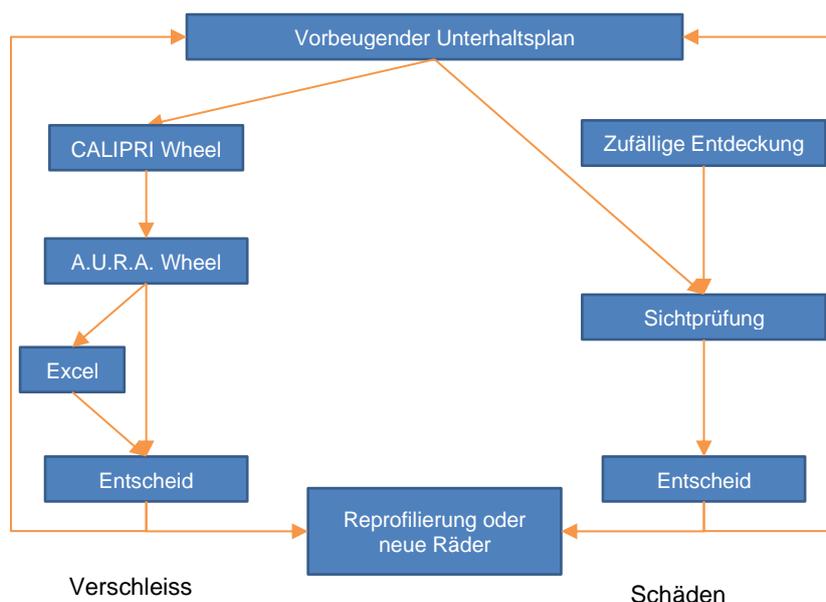


Abbildung 4: Analyseschema des Verschleisses (links) und der Schäden an den Rädern (rechts) der MOB von 2013.

Die Profilmessungen an den Rädern werden gemäss den folgenden Intervallen durchgeführt:

- Triebwagen: einmal monatlich
- Triebfahrzeuge: alle drei Monate
- Wagen: alle sechs Monate
- GPX-Wagen: einmal monatlich

Der Abstand zwischen den Messungen wird je nach Verschleiss regelmässig überprüft. So werden im Falle eines starken Verschleisses an den Spurkränzen zum Beispiel die Anzahl Profilmessungen stark erhöht, um die Entwicklung genau zu verfolgen. Umgekehrt wird das Intervall wieder verringert, wenn das Problem behoben ist.

#### 3.1.2 Messung mit CALIPRI

CALIPRI Wheel misst die Räder optisch. Es misst und berechnet die folgenden Werte: Spurkranzdicke ( $S_d$ ) und Spurkranzhöhe ( $S_h$ ) des Spurkranzes,  $q_R$ -Mass, Ausbrüche, Überwälzungen ( $a$ ), Raddurchmesser ( $D$ ), Leitmass ( $L$ ) und Spurmass ( $S$ ) und Radrückenabstand ( $A_R$ ). Für jeden Parameter sind zwei Alarmstufen festgelegt. Wenn die erste Stufe erreicht ist, wird eine Reprofilierung oder der Ersatz der Räder oder der Radreifen geplant. Falls die zweite Stufe überschritten ist, wird die Sachlage begutachtet und es werden dringende Massnahmen ergriffen, die bis zur Ausserbetriebsetzung des Fahrzeuges gehen. Sobald die Messung abgeschlossen ist, werden die Profile und die gemessenen Grössen zur Analyse übermittelt.

### 3.1.3 Auswertung mit A.U.R.A. Wheel

Bis Ende 2023 setzte die MOB das Tool A.U.R.A. Wheel, welches von NEM-Solutions und zeitweise auch mit dem Hersteller der CALIPRI-Geräte (NEXTSENSE, heute HEXAGON) entwickelt worden ist für die Datenanalyse ein. Da der Lieferant einen Systemersatz mit beträchtlicher Preiserhöhung vorgenommen hat, wird auf die Verwendung dieses Systems verzichtet. Die Analyse wird derzeit mittels einer Excel-Tabelle durchgeführt.

A.U.R.A. Wheel war eine Software für die Bewirtschaftung und Analyse der Messdaten der Räder und Radsätze. Mit ihr konnten die Drehgestelle, Radsätze und Räder der Fahrzeuge sowie die Reprofilierungen und der Ersatz von Rädern und Radreifen überwacht werden. Sie stellte die CALIPRI-Messungen (Profile und geometrischen Parameter von Rad und Radsatz) sowie die Entwicklung dieser Parameter dar. Das Programm stand über eine Website zur Verfügung (Abbildung 5).

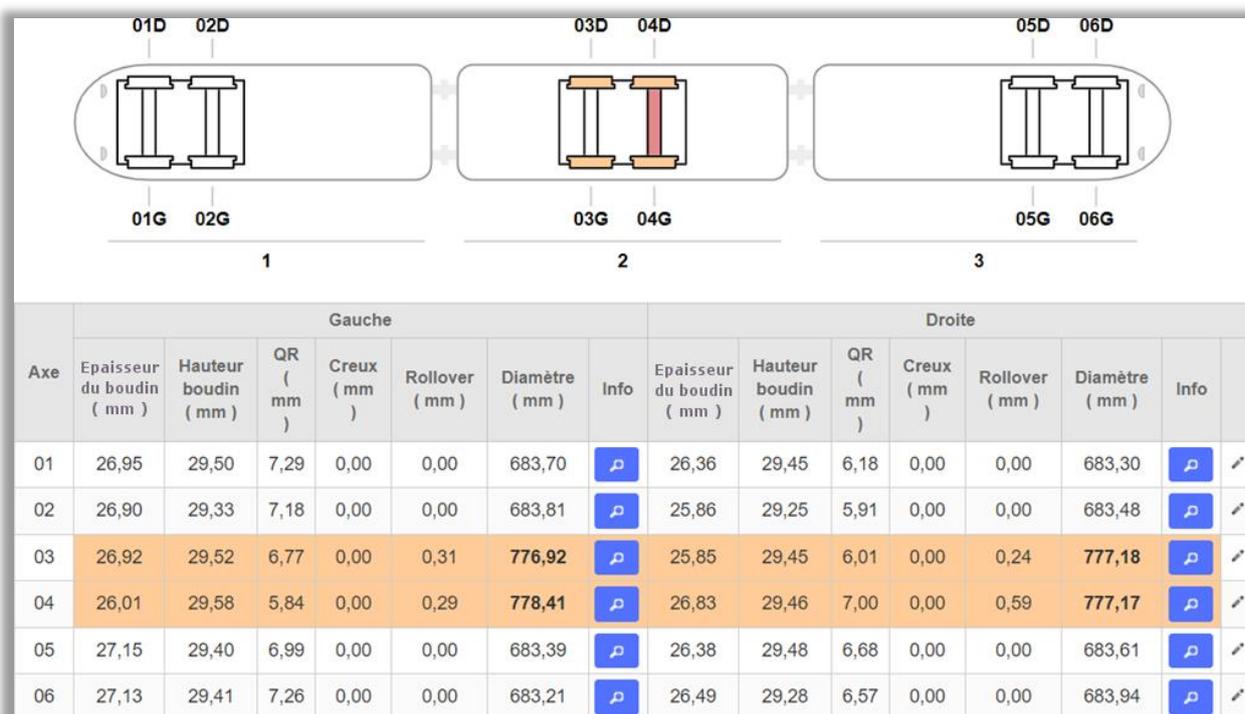


Abbildung 5: A.U.R.A. Wheel (von der MOB bis 2023 eingesetzt). Für ein Fahrzeug werden alle Grössen des Profils dargestellt. Falls ein Wert die Warnstufe (bzw. den Toleranzbereich) überschreitet, wird die Zeile orange, bzw. rot unterlegt. In diesem Beispiel sind die Raddurchmesser der Radsätze 3 und 4 kleiner als das Warngrenzmass. Die betreffende Grösse wird fett angezeigt. Diese Warnungen werden für die Unterhaltsplanung verwendet.

Von der MOB wurde die Prognosefunktion einzig für den Durchmesser-Verschleiss eingesetzt. Für die Überwachung der Drehgestelle, Radsätze und Räder (Einbauort & Rückverfolgbarkeit) setzte die MOB auch A.U.R.A. Trace des gleichen Lieferanten ein. Das neue Computergestützte Unterhaltsmanagement (CGUM) macht dieses Tool unnötig.

A.U.R.A. Wheel berechnete die äquivalente Konizität und die  $\Delta r$ -Funktion mit dem Nominalprofil des Gleises sowie das Leitmass (L), die Durchmesserunterschiede der beiden Räder eines Radsatzes und diejenigen eines Drehgestells. Zudem simulierte das Programm den Durchmesserverlust auf der UFD bei einer Reprofilierung (Abbildung 6), wobei im Fall eines erhöhten Spurkranzverschleisses zwischen dem Nominalprofil oder einem Profil mit einem dünneren Spurkranz gewählt werden konnte.

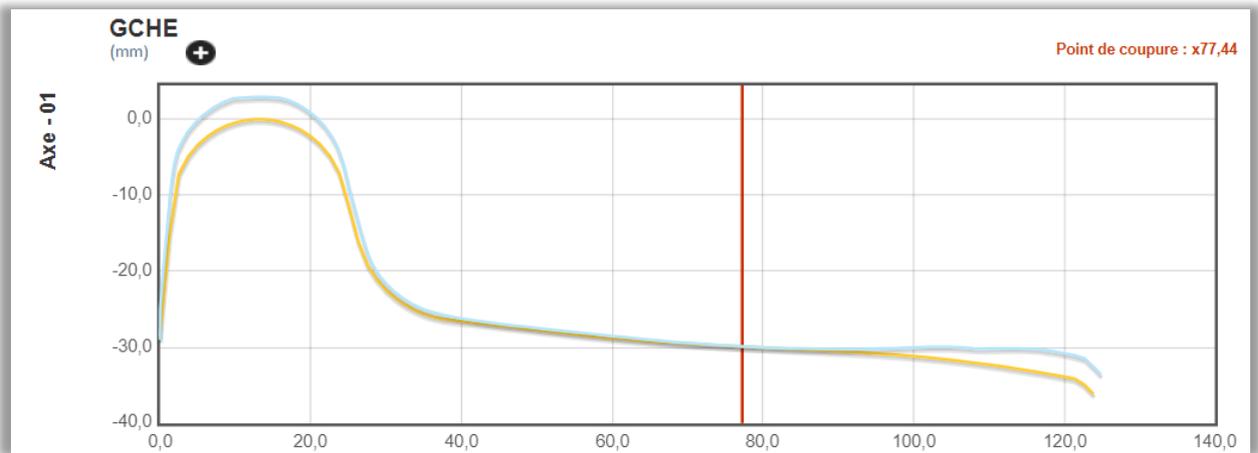


Abbildung 6: Analyse mit dem A.U.R.A. Wheel-Programm. In Blau das gemessene Profil, in Gelb das Nominalprofil, das einer idealen Reprofilierung entspricht. Die rote Linie zeigt den Berührungspunkt zwischen den beiden Profilen. Dies entspricht dem Punkt des Profils mit dem höchsten Verschleiss seit der letzten Reprofilierung. Beim Verschleiss des Spurkranzes liegt die rote Linie an der Spurkranzflanke. So kann rasch festgestellt werden, wo der Hauptverschleiss eingetreten ist (in der Lauffläche oder an der Spurkranzflanke).

Seit dem Verzicht der MOB auf A.U.R.A. Wheel werden nun andere Tools eingeführt. Langfristig werden die für die Unterhaltsplanung erforderlichen Analysen in das CGUM übernommen. Derzeit werden die aus CALIPRI zu exportierenden Dateien per E-Mail gesandt und im Dossier eingetragen. In Zukunft soll dieser Vorgang automatisiert werden. Alle Tabellenkalkulationen verwenden die Messdateien.

### 3.1.4 Auswertung mit Excel

Für die Analyse des Durchmesser-Verschleisses der Räder, die Planung der Reprofilierung und des Rad/Radreifen-Ersatzes wird ein Excel-Tabellenblatt verwendet. Damit kann der Verschleissgrad analysiert und eine Verschleiss-Statistik erstellt werden. Zudem wird eine Schätzung der verbleibenden Kilometer erstellt, bevor der minimale Durchmesser oder die maximale Höhe des Spurkranzes erreicht ist (Abbildung 7).

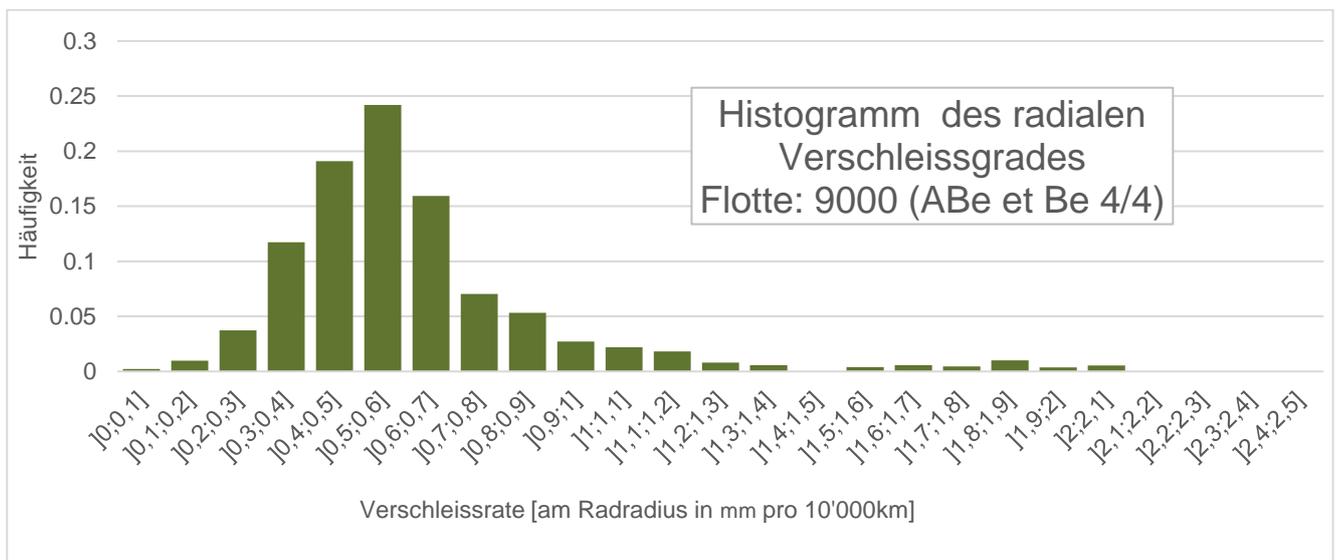


Abbildung 7: Histogramm der radialen Verschleissrate (Verschleissrate am Radradius in mm pro 10'000km für die Fahrzeuge der Serie 9000 (Abe und Be 4/4). Der Ordinatenwert zeigt die Häufigkeit des Verschleisses. In einem Viertel der Fälle liegt der Verschleiss bei 0.5 bis 0.6mm/10'000km.

Ein zweites Tabellenblatt stellt die grafische Analyse der Entwicklung in den folgenden Parametern für jedes Fahrzeug dar (Abbildung 8):

- Spurkranzdicke ( $S_d$ )
- Spurkranzhöhe ( $S_h$ )
- $q_R$
- Hohllauf
- Materialverlagerung (Auskragung; a)
- Radkranzbreite oder Radreifenbreite (b)
- Raddurchmesser (D)
- Radrückenabstand ( $A_R$ ) und Spurmass (S)
- Leitmass links und rechts (L)
- Durchmesserdifferenz links/rechts an einem Radsatz.

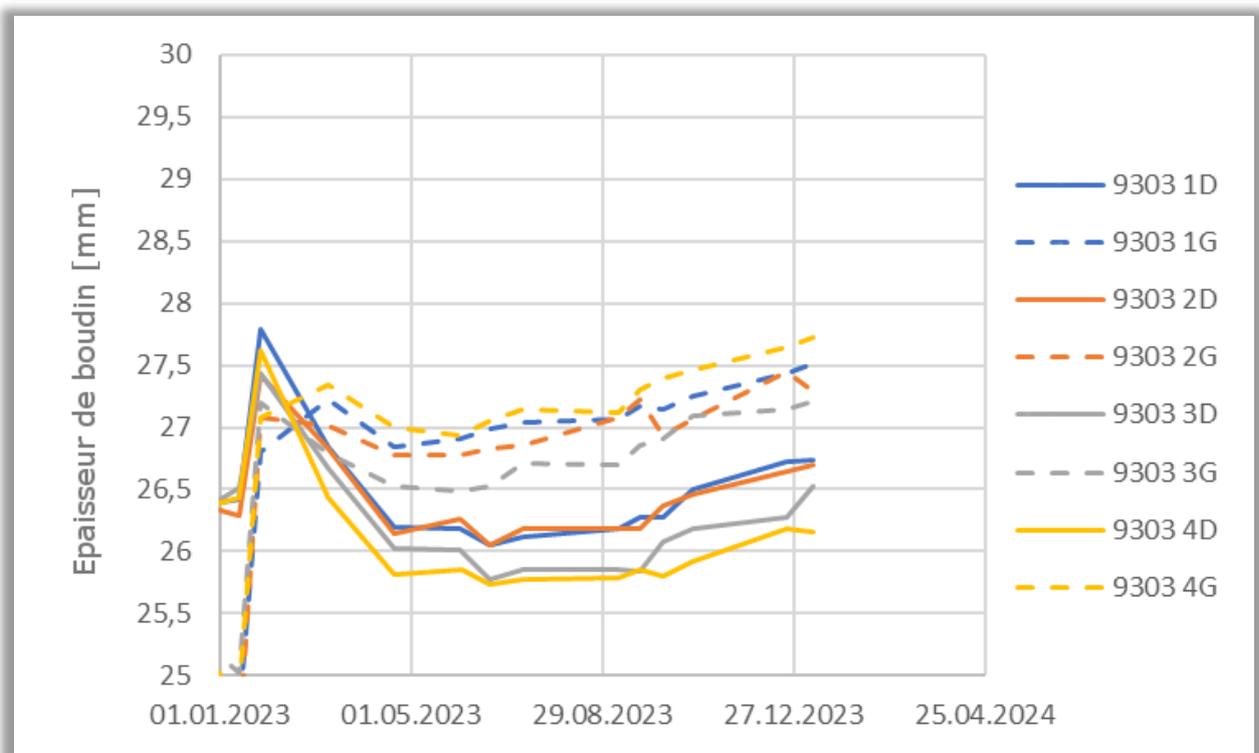


Abbildung 8: Entwicklung der Spurkranzdicke des Fahrzeuges 9303 in Excel. Am 17.01.2023 erfolgte eine Neuprofilierung. Die Spurkranzdicke der Räder rechts sank bis im April 2023 stark. Anschliessend stieg die Dicke an allen Rädern.

Diese Werte können auch unter mehreren Fahrzeugen verglichen werden. Mit dem Import der Daten aus den Fahrzeugumläufen können für einen Teil der Flotte der Verschleiss und die befahrenen Linien verglichen werden, auf denen das Fahrzeug verkehrte (Abbildung 9).

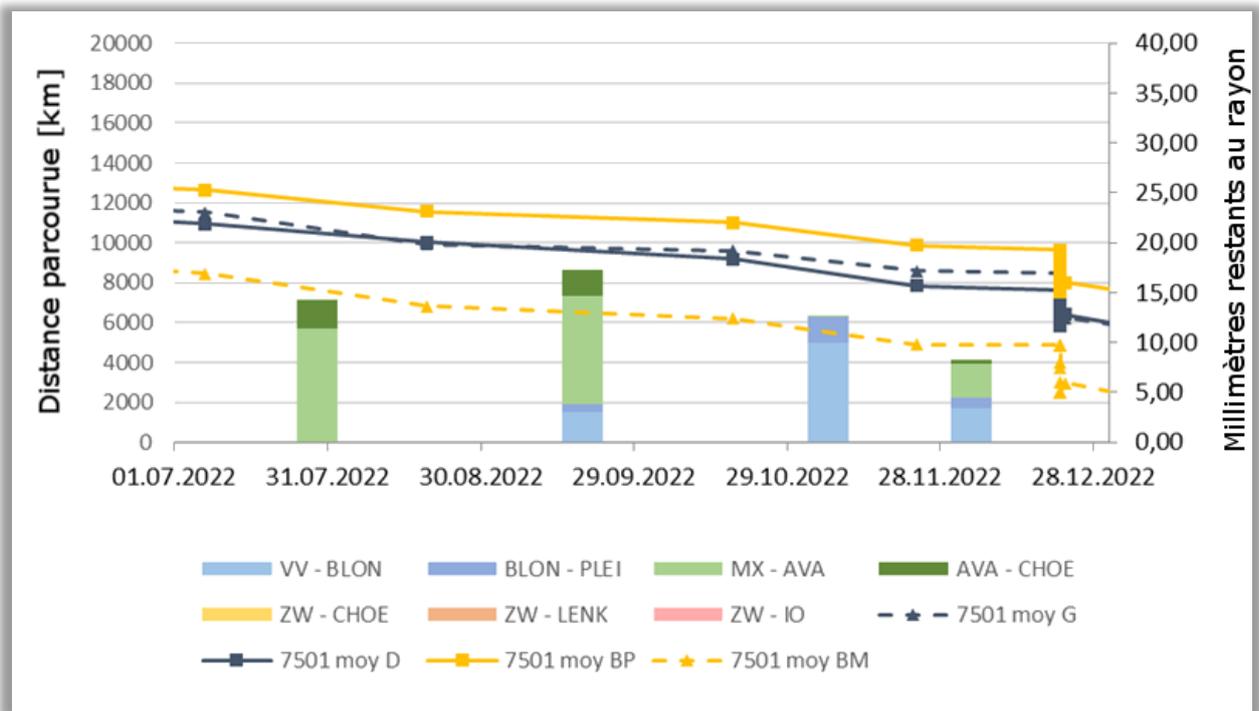


Abbildung 9: Vergleich der Durchmesser bei einem GTW (Fahrzeug 7501) und der vom Fahrzeug befahrenen Linien. Achse links: zwischen zwei Profilmessungen zurückgelegte Distanz in km auf jeder Linie (Säulen). Achse rechts: im Radius verbleibende mm (Linien). Die Farbe in den Säulen zeigen den Anteil der befahrenen Linien. «moy»: Mittelwert der Räder; «BM»: Triebdrehgestell; «BP»: Laufdrehgestell; «G»: links; «D»: rechts.

### 3.1.5 Sonderfall Golden-Pass-Express (GPX)

Da der GPX durch seine Umspurdrehgestelle sowohl im Normalspur- wie auch Meterspurnetz verkehrt, müssen die Messungen sowohl nach der RTE für Meterspur (RTE 29500) als auch Normalspur (RTE 29000) durchgeführt werden. In einem anderen Tabellenblatt (Abbildung 10) können mit Hilfe der aufgenommenen Punktwolken  $q_R$ ,  $S_d$  und  $S_h$  für jede RTE gemessen und ihre Entwicklung angezeigt werden.

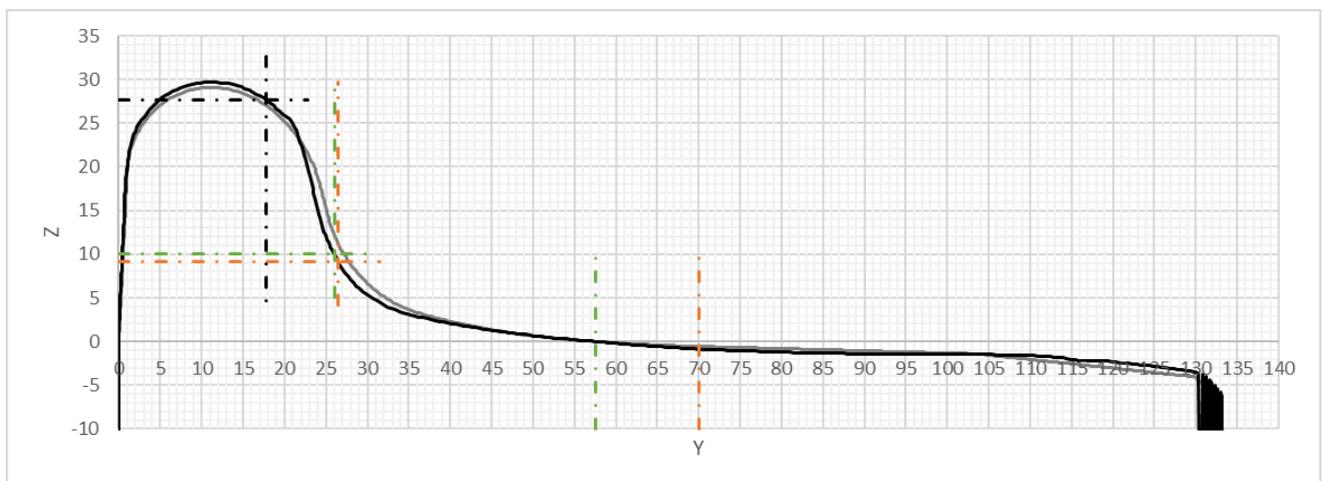


Abbildung 10: Messung von  $q_R$ ,  $S_d$  und  $S_h$  nach Vorgaben für Meterspur (grün) / Normalspur (orange); Messkreisebene bei 57 bzw. 70 mm von der Radrückenseite.

### 3.1.6 Hohllauf-Auffälligkeiten

Obwohl der Hohllauf gemäss RTE 29500 (Radsatz Typ A) bei 57mm Abstand von der Radrückenseite gemessen wird und er oft beim Wert Null liegt, wurden Schäden an Weichen (Flügelschienen) entdeckt. Nach genauerer Analyse tritt der maximale Verschleiss nicht in der Messkreisebene bei 57mm, sondern bei ca. 97mm, also weiter an der Radaussenseite auf (Abbildung 11). Wenn der Hohllauf nicht in Messkreisebene bestimmt wird, sondern als Maximalwert auf der gesamten Lauffläche, dann ergibt dies Werte im hohen Zehntelbereich, obwohl auf Messkreisebene kein Hohllauf bestimmt werden kann. Die MOB hat sich einen Grenzwert von 0.7mm gesetzt, um Schäden in den Weichen zu minimieren.

Auch bei der SBB wurde diese andere Art der Hohllaufbestimmung (Maximalwert über die gesamte Lauffläche) vor einigen Jahren eingeführt und durch eine Anpassung im CALIPRI für alle Bahnen so auch verfügbar gemacht.

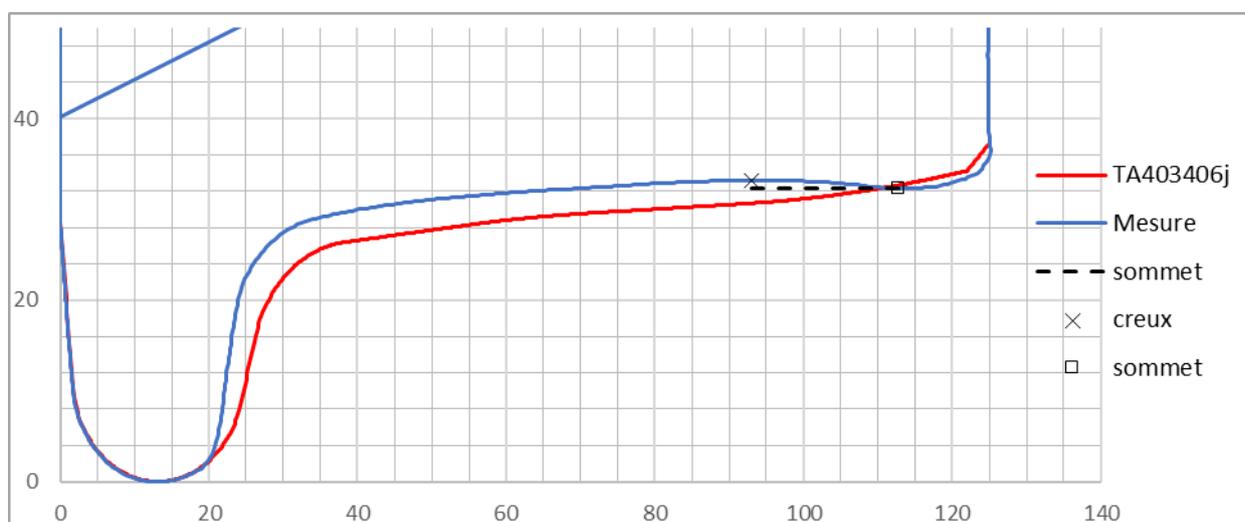


Abbildung 11: Messung des tatsächlichen Hohllaufs. «Blau»: gemessenes Radprofil; «Rot» Nominalprofil. Das Kreuz entspricht dem wahren Minimalpunkt auf der Lauffläche, weit ab der Messkreisebene. Das Quadrat entspricht dem örtlichen Maximum. In diesem Fall beträgt die Differenz der beiden Punkte, also dem tatsächlichen Hohllauf 0.9mm. Dies obwohl gemäss RTE kein Hohllauf besteht, wenn ab dem Radrücken bei 57mm gemessen wird.

## 3.2 Analyse der Schäden

Bei der Messung des Radprofils wird der sichtbare Radteil gereinigt und visuell untersucht, um den Oberflächenzustand zu prüfen und eventuelle Schäden zu entdecken. Das Fahrpersonal meldet ebenfalls Fälle von Rundheitsabweichungen der Räder, zum Beispiel Flachstellen.

Die Schäden werden von Fachpersonen analysiert und es wird über eine Reprofilierung oder eine mögliche Ausserbetriebsetzung des Fahrzeugs entschieden. Diese Bewertung stützt sich auf Erfahrung sowie auf die RTEs zum Radsatzunterhalt R RTE 41500 (Meterspur) und R RTE 41000 (Normalspur) ab. Letztere wird auch für die Bewertung der Schäden auf Meterspurgleisen verwendet, da sie vollständiger ist als jene für Meterspur.

## 4 RBS

### 4.1 Analyse der Profile

#### 4.1.1 Prozess

Bei der RBS werden die Radsätze periodisch auf Schäden und Verschleiss kontrolliert. Die Verschleisskontrollen sind in einem spezifischen Dokument «RIL\_Radsatz-Geometriekontrolle» (Richtlinie für die Kontrolle der Geometrie der Radsätze) beschrieben. Grundsätzlich gelten die analogen Grenzwerte der RTE 29500, Radsatztyp B. Die Messungen werden während des planmässigen Unterhalts mit dem CALIPRI-Gerät durchgeführt. Lediglich die Werte der Radrückenabstände werden auf der UFD oder in der Grube mit einer Schieblehre und nicht mit CALIPRI gemessen.

Stellt ein Mitarbeiter fest, dass bei einem Radsatz ein Warnwert erreicht ist, informiert er seinen Vorgesetzten. Dieser löst dann die nächsten Schritte aus, wie z.B. eine R0 oder zusätzliche Kontrollen. Der Zweck besteht darin, über genug Zeit zu verfügen, bevor die Betriebsgrenzwerte erreicht sind und so die nachfolgenden Schritte zu planen, ohne dass ganze Fahrzeuge unverzüglich stillgelegt werden müssen.

Für die Auswertung des Verschleisses wurde in den letzten Jahren eine Excel-Datei entwickelt, mit deren Hilfe der Verschleiss und dessen Entwicklung überwacht werden können. Mit den erfassten Daten können Prognosen über die für die R0 erwarteten Durchmesser erstellt werden. Die Daten werden während einer regulären Kontrolle erhoben und der Depot-Mitarbeiter erfasst ausserdem eine \*V2.xml-Datei, die dann vom technischen Büro in die Excel-Datei des betreffenden Fahrzeuges übertragen wird. Dieses Verfahren wird alle zwei Monate oder ungefähr alle 20'000 km wiederholt. Es hat sich herausgestellt, dass dieses Intervall mehr als ausreichend ist, um den normalen Verschleiss zu überwachen. Bei besonderen Vorkommnissen, zum Beispiel einem katastrophalen Verschleiss der Spurkränze wegen mangelnder Schmierung, werden zusätzliche Daten gesammelt und auf Verlangen importiert. Solche Vorkommnisse können mit dieser Auswertung nur sehr schwer erkannt werden. Deshalb ist man immer auf Meldungen der Lokführer oder von anderem Personal angewiesen.

Die Intervalle der R0 wurden aus Erfahrung je nach Flotte und Drehgestelltyp gewählt. So werden die Triebdrehgestelle der RBS alle 160'000km einer R0 unterzogen. Die Tragdrehgestelle werden üblicherweise alle 230'000km revidiert. Mit diesen Laufleistungen ist der Ersatz der Räder der Triebdrehgestelle anlässlich des Revisionsintervalls (6 Jahre) geplant. Damit werden die Kosten für den Ersatz von Rädern zwischen Revisionsintervallen reduziert, da diese unnötig hohe Ausgaben verursachen würden. Die Räder der Laufdrehgestelle werden in der Regel bei jeder zweiten Revision (12 Jahre) ersetzt.

#### 4.1.2 Messung mit CALIPRI

Die RBS verfügt derzeit über zwei CALIPRI C42. Eines davon steht im Depot von Worblaufen für den Unterhalt der Seconda/Worbla-Flotten sowie für die Dienstfahrzeuge zur Verfügung. Das zweite Gerät befindet sich in Solothurn und wird für die Kontrolle der NEXt-Flotte verwendet.

Im Rahmen des vorbeugenden Unterhalts werden die Werte  $S_h$ ,  $S_d$ , und  $q_R$  erhoben und festgehalten (Abbildung 12). Das Messprogramm ist so konzipiert, dass ein Wert, der den gemäss RTE 29500 Radsatztyp B zugelassenen Warnwert erreicht, orange angezeigt wird. Wenn ein Warnwert erreicht ist, werden die geeigneten Massnahmen ergriffen, entweder vom Depotverantwortlichen selbst oder im Einvernehmen mit der technischen Abteilung. Es kann sich um Kontrollen in kürzeren Abständen, eine vorgezogene R0 oder neue Expertisen handeln.

		Dimensionen sortiert nach Objekten			
		Spurkranzprofil			
		H	qR	Sd	Sh
Radsatz1	Radprofil-1L	0,00	5,37	20,58	28,92
	Radprofil-1R	0,04	3,69	18,73	29,45
Radsatz2	Radprofil-2L	0,00	5,56	20,68	28,77
	Radprofil-2R	0,05	3,89	18,67	29,30
Radsatz3	Radprofil-3L	0,00	5,67	20,87	29,01
	Radprofil-3R	0,24	4,30	19,10	29,77
Radsatz4	Radprofil-4L	0,00	5,52	20,37	29,16
	Radprofil-4R	0,33	4,10	18,97	29,79
Radsatz5	Radprofil-5L	0,00	5,86	20,80	29,29
	Radprofil-5R	0,00	4,58	18,28	29,67
Radsatz6	Radprofil-6L	0,00	5,83	20,74	29,27
	Radprofil-6R	0,10	4,39	19,20	29,65
Radsatz7	Radprofil-7L	0,00	5,87	21,01	29,18
	Radprofil-7R	0,00	4,51	19,54	29,59
Radsatz8	Radprofil-8L	0,00	5,90	20,89	29,42
	Radprofil-8R	0,00	4,44	19,47	29,52
Radsatz9	Radprofil-9L	0,00	5,60	20,74	28,72
	Radprofil-9R	0,23	3,67	18,54	29,42
Radsatz10	Radprofil-10L	0,00	5,74	20,69	28,89
	Radprofil-10R	0,15	3,67	18,73	29,49
Radsatz11	Radprofil-11L	0,00	5,45	20,36	28,77
	Radprofil-11R	0,12	3,78	18,70	29,22
Radsatz12	Radprofil-12L	0,00	5,62	20,48	28,89
	Radprofil-12R	0,19	3,36	18,34	29,65

Toleranz überschritten. Fahrzeug muss stillgelegt werden!  
Warnwert überschritten. Radsatz muss überwacht werden!

RABe\_21-34, 2022-08-05  
Plan from 13.07.2020 09:24 (id: f4c945d9-1345-4811-837b-14c9be4bba9d)

Abbildung 12: Vom CALIPRI erstellter Bericht.

### 4.1.3 Auswertung mit Excel

Die mit CALIPRI erhobenen Daten enthalten auch eine Punktwolke der Räder der entsprechenden Radsätze. Diese wird in einer Excel-Datei (Abbildung 13) pro Fahrzeug gespeichert und bearbeitet. Anhand dieser Datei kann die Entwicklung der für die Sicherheit wichtigen Werte  $S_d$ ,  $S_h$  und  $q_R$  nachverfolgt werden.

		1	2	3	4	5	6	7
PersNr		2152	2152	2152	5118	2140	2140	
Km		909591	940495	955310	1025941	1050580	1101979	
Datum		13.06.2022	06.09.2022	11.03.2022	10.07.2023	06.09.2023	28.12.2023	
Sd	Radprofil-1L	21.01	20.98	21.24	21.28	21.33	21.53	
Sd	Radprofil-1R	21.01	20.98	21.24	21.28	21.33	21.53	
Sh	Radprofil-1L	28.08	28.58	28.72	29.42	29.73	30.14	
Sh	Radprofil-1R	28.08	28.58	28.72	29.42	29.73	30.14	
qR	Radprofil-1L	6.08	6.08	6.26	6.38	6.48	6.74	
qR	Radprofil-1R	6.08	6.08	6.26	6.38	6.48	6.74	
H	Radprofil-1L	0	0	0	0	0	0	
H	Radprofil-1R	0	0	0	0	0	0	
Sd	Radprofil-1R	20.84	20.73	20.91	20.9	21.03	20.94	
Sd	Radprofil-1R	20.84	20.73	20.91	20.9	21.03	20.94	
Sh	Radprofil-1R	28.04	28.72	28.83	29.76	29.98	30.6	
Sh	Radprofil-1R	28.04	28.72	28.83	29.76	29.98	30.6	
qR	Radprofil-1R	5.89	6.03	6.15	6.28	6.14	6.14	
qR	Radprofil-1R	5.89	6.03	6.15	6.28	6.14	6.14	
H	Radprofil-1R	0	0	0	0	0.03	0.28	
H	Radprofil-1R	0	0	0	0	0.03	0.28	
Sd	Radprofil-2L	20.76	20.93	20.89	21.17	21.2	21.41	
Sd	Radprofil-2L	20.76	20.93	20.89	21.17	21.2	21.41	
Sh	Radprofil-2L	28.02	28.49	28.6	29.25	29.45	29.8	
Sh	Radprofil-2L	28.02	28.49	28.6	29.25	29.45	29.8	
qR	Radprofil-2L	5.99	6.05	6.09	6.29	6.35	6.5	
qR	Radprofil-2L	5.99	6.05	6.09	6.29	6.35	6.5	

Abbildung 13: Messdaten. Die Verarbeitung der Daten bewirkt, dass jede Linie zweimal angezeigt wird. Dies hat keine Auswirkungen auf die Analyse.

kilometer FZ	LDG1		LDG2		RO				MDG2		LDG4				
	0	770	770	0	770	770	0	770	770	0	770	770	0	770	770
1	0	770	770	0	770	770	0	770	770	0	770		0	770	770
608558													0	736	730
654936							0	735	733	0	732				
719580	0	733	729	0	738	731									
780471							0	770	770	0	770				
797355										0	762	763	0	730	725
891125	0	722	720	0	729	719									
907117							0	763	761						
923934													0	720	707
952315										0	754	757			
985407							Revision							####	730
991897													0	720	714
1054135							0	755	751						

Abbildung 14: R0/Drehgestelltausch an einem bestimmten Fahrzeug. Bei einer R0 werden der Kilometerstand und die Durchmesser jedes Radsatzes eingetragen. Beim Auswechseln eines Drehgestells, das seit der vorangegangenen R0 bereits im Verkehr war, wird auch dieser Kilometerstand eingetragen.

Damit der Kilometerstand je Radsatz/Drehgestell korrekt berechnet werden kann, werden die R0 sowie die Drehgestelltausche in der Datei eingetragen (Abbildung 14). Wenn der Kilometerstand 0 ist, bedeutet dies, dass am Radsatz dieses Fahrzeuges eine R0 durchgeführt worden ist. Ist ein Kilometerstand angegeben, dann handelt es sich um den Kilometerstand des entsprechenden Drehgestells, bevor es in dieses Fahrzeug eingesetzt wurde. Der Durchmesser wird je Radsatz angegeben. Da bei einer R0 die Differenz zwischen links und rechts nur 0.3mm sein darf, reicht das für die Prognose der nächsten R0 völlig aus.

Die Auswertung und Darstellung des Verschleisses werden je Radsatz erstellt (Abbildung 15). Der Verschleiss wird auf der ganzen Radbreite sowie am aktuellen Durchmesser des Laufkreises (LK) und am erwarteten Durchmesser bei sofortiger R0 dargestellt. In der Auswertung werden alle erfassten Profile sowie jene der letzten R0 mit einem Referenzpunkt (hier bei 105mm von der Radrückenfläche) überlagert. Der Referenzpunkt kann geändert werden. Er muss jedoch so gewählt werden, dass an der entsprechenden Stelle kein oder nur ein geringer Verschleiss vorhanden ist und er sich in einem Bereich befindet, der so parallel wie nur möglich zur Radsatz-Drehachse verläuft. In diesen Bereichen sind die Abweichungen in den Präzisionsmessungen nämlich am geringsten.

So kann die Differenz zwischen R0 und dem gemessenen Profil auf der ganzen Radbreite berechnet werden. Dies geschieht einerseits für den Durchmesser des Laufkreises (53mm ab der Radrückenfläche für Radsatztyp B). Andererseits wird die maximale Differenz zwischen dem gemessenen Profil und dem Nominalprofil im Abstand zwischen dem Scheitelpunkt des Spurkranzes (8mm von der Radrückenfläche) und der Anfasung an der äusseren Radstirnseite berechnet. Diese liegt bei etwa 110mm von der Radinnenseite. Diese Differenz stellt den erwarteten minimalen radialen Verlust für eine R0 dar.



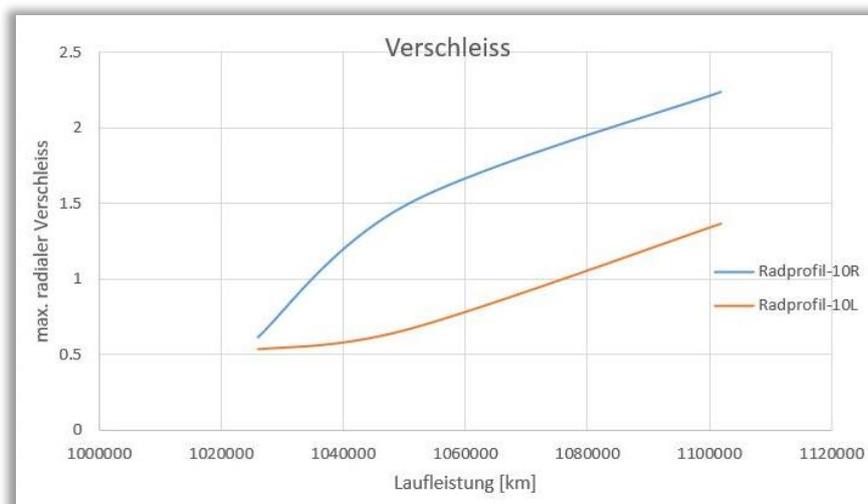


Abbildung 17: Maximaler radialer Verschleiss nach Laufleistung. «Blau»: Rad rechts; «Orange»: Rad links. Für jeden Profilpunkt wird der Verschleiss berechnet. Für jede Messung ist hier der maximale Wert angegeben. In diesem Beispiel liegt der maximale Verschleiss bei ungefähr 2mm an der Radinnenseite (Spitzen der gestrichelten Linien in Abbildung 16). Dies entspricht dem radialen Verlust zwischen der letzten R0 und einer idealen theoretischen R0.

Die minimale Verschleissprognose nach einer letzten R0 wurde aufgrund der statistischen Werte für jeden Radsatz der gesamten Flotten bestimmt und in der Datei eingetragen. Wenn dieser Wert erreicht ist, wird der für eine R0 erwartete Durchmesser in Orange angezeigt. In diesem Fall erhält die Werkstatt, welche die R0 und Revisionen plant, eine Meldung. Diese Meldung enthält die verbleibenden Kilometer sowie den erwarteten Wert. Gestützt auf die Planung der Revisionen wird entschieden, ob eine R0 vorgezogen werden muss oder gegebenenfalls die Revisionsplanung anzupassen ist.

## 4.2 Analyse der Schäden

Falls im Rahmen des normalen Unterhalts bei der Sichtprüfung Unregelmässigkeiten festgestellt werden, zum Beispiel ein übermässiger Verschleiss der Radrückenfläche oder Verdrehspuren an der Radsatzwelle in Verbindung mit der Radscheibe, werden sie dem technischen Rollmaterialbüro gemeldet. Dieses entscheidet aufgrund der Bilder des Schadens über das weitere Vorgehen. Das weitere Vorgehen wird nach Erfahrung und dem Schadenskatalog der RTE 41500 (Unterhalt der Radsätze für Meterspur) entschieden. Je nach Schäden wird auch die Infrastrukturabteilung informiert, um eventuelle Spuren oder Schäden am Netz zu kontrollieren.

## 5 RhB

### 5.1 Analyse der Profile

#### 5.1.1 Prozess

Die Rhätischen Bahn ist eine der wenigen Bahnen, die zur Messwerterfassung der Radprofile nicht das CALIPRI-Messgerät einsetzt. Die Schwierigkeiten der Messwerterfassung und die damit verbundene Auswertung sind durch den Einsatz zwei verschiedener anderer Messgeräte somit differenziert zu betrachten.

#### 5.1.2 Messung mit Überfahrmessanlage

Die RhB verfügt über zwei Messinstallationen im Gleis (Überfahrmessanlagen) zur Erfassung der Radprofile auf offener Strecke mit Regelgeschwindigkeit. Derzeit werden diese Daten selten genutzt, da die Qualität der Messungen ungenügend ist. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messungen der Spurkranzdicke können die Abweichungen zwischen den beiden Installationen mehr als einen Millimeter betragen (Abbildung 18).

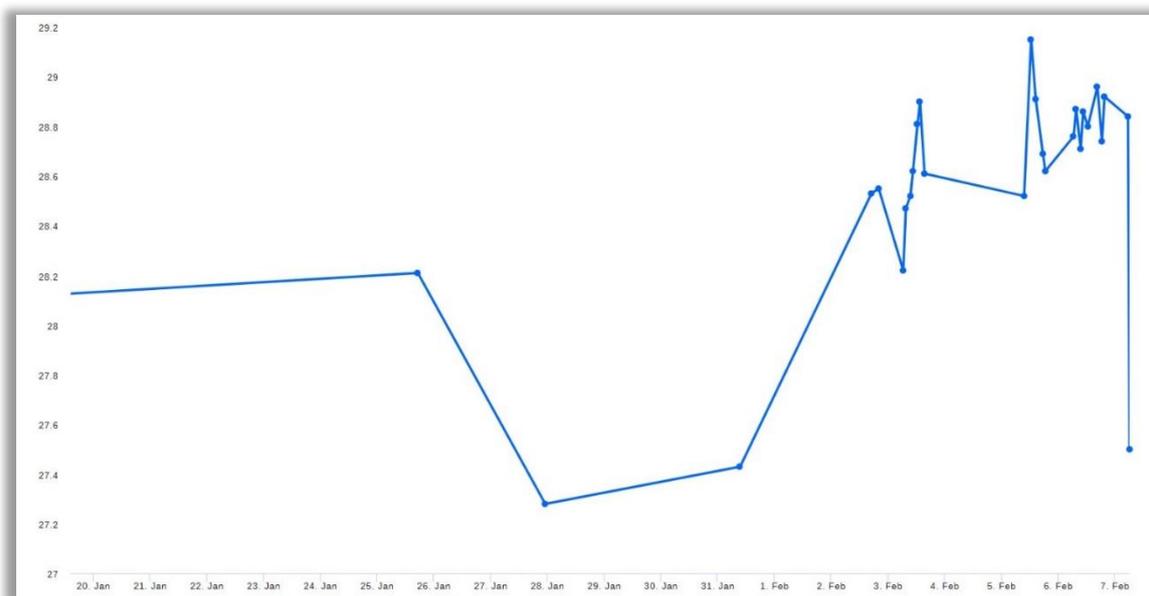


Abbildung 18: Entwicklung der Spurkranzdicke eines Fahrzeuges mit den beiden Überfahrmessanlagen der RhB.

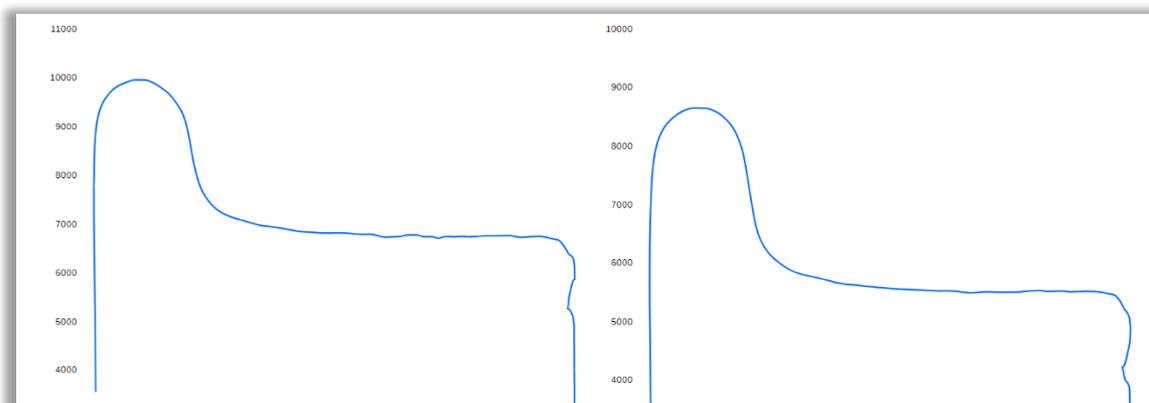


Abbildung 19: Profile des rechten und linken Rades. Man erkennt die Messungenauigkeiten auf der Lauffläche.

Die Ursache dieses Problems ist noch nicht vollumfänglich bekannt. Der Messungenauigkeit auf der Lauffläche bei den Messungen ist ebenfalls beträchtlich (Abbildung 19).

Die Überfahrmessanlage (ÜMA) erkennt die Fahrzeuge normalerweise über die RFID-Tags unter den Wagenkästen. Wenn der Zug zu lang ist, gelingt es der Anlage nicht, alle Radsätze zu erkennen und die Daten aufzuzeichnen. Die Messung weist also einen Fehler auf und die Daten des ganzen Zuges sind verloren. Im Weiteren erkennt die ÜMA die RFID-Tags bestimmter Fahrzeuge nur schlecht. Diese werden also nicht regelmässig gemessen.

Die RhB möchte die Datenqualität in Zukunft verbessern, um die Analyse zu erleichtern. Mit diesen Daten könnte die Reprofilierung radscharf geplant werden. Da das Projekt zur Inbetriebnahme der Installationen abgeschlossen ist, stehen für die Verbesserung ihrer Funktionsfähigkeit nur wenig Ressourcen zur Verfügung.

Derzeit werden somit von diesen Anlagen keine Daten produktiv für Auswertungen genutzt.

### 5.1.3 Messung mit OPTIMESS

Lediglich eine Fahrzeugflotte der RhB, nämlich der Flügeltriebzüge (RTZ) wird aufmerksamer überwacht, da sich dieser noch in der Garantielaufzeit befindet. Das Lastenheft enthält eine Auflage über den radialen Radverschleiss. Diese Fahrzeuge werden deshalb regelmässig mit einem manuellen optischen OPTIMESS-Lasermessgerät gemessen und die Daten so digital, samt Punktwolke gespeichert.

Neben den UFD-Daten bilden diese Messungen die Grundlage für die Radprofil-Auswertungen bei der RhB.

### 5.1.4 Auswertung mit Excel

Die Profildaten, einschliesslich des Datums und der Uhrzeit der Messung, werden dem Fahrzeug und dem Radsatz zugeordnet, jedoch ohne Angabe des Kilometerstandes des Fahrzeuges. Um diesen Mangel zu beheben, wünscht die RhB sie in Zukunft mit der SAP zu verbinden. Derzeit werden die Kilometer täglich automatisch oder manuell in SAP erfasst.

Die für die Unterhaltsplanung verantwortliche Person verfügt für jede Flotte auch über zahlreiche Daten zur Reprofilierung, die aus der UFD stammen (Vor- & Nachmessdaten). Die Nummer des Fahrzeuges und des Radsatzes werden manuell in die UFD eingetragen und anschliessend werden die Messungen direkt an die SAP übermittelt. Für die Planung der Reprofilierungen verfügt die RhB so über Verschleissdaten (mm/10'000km oder mm/Jahr). Der Grund für die Reprofilierung wird im System nach den folgenden Auswahlkriterien eingetragen: Verschleiss, Risse, Flachstellen, Ausbröckelungen, Mulden, netzförmige Risse/«Krötenhaut», Rundheitsabweichungen der Räder und Unfälle/äussere Einflüsse. Die häufigste Ursache ist der erstgenannte: Verschleiss.

Die spezifischen Werte für die Laufleistungen sind gemäss Lastenheft wie folgt:

- Laufdrehgestelle
  - 130'000km zwischen zwei Reprofilierungen
  - 1 Mio. km für den Ersatz der Räder
- Triebdrehgestelle
  - 110'000km zwischen zwei Reprofilierungen
  - 800'000km für den Ersatz der Räder

Die Trieb- und Laufräder haben für den Durchmesser alle eine Verschleissreserve von 70mm.

Um die Verschleissrate zu verfolgen, werden die Daten manuell in eine Excel-Tabelle (Abbildung 20) übertragen.

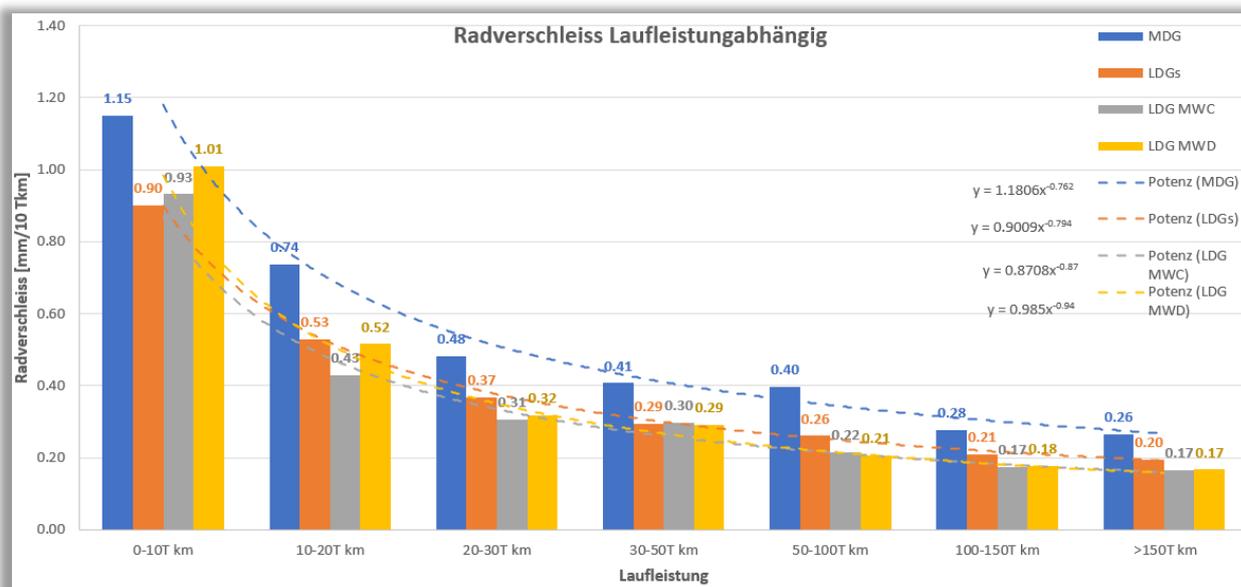


Abbildung 20: Entwicklung des Verschleisses im Vergleich zur Laufleistung nach Reprofilierung. Die Studie läuft noch. Diese Daten sind provisorisch. Das Radprofil Typ A der RTE 29500 wird bei den R0 verwendet. In den ersten 10'000km ist der Verschleiss viel grösser als später. «MDG»: Motordrehgestell; «LDG»: Schweres Laufdrehgestell (Steuerwagen unter dem Führerstand); «LDG MWC/D»: Leichtere Laufdrehgestelle der Zwischenwagen C und D.

Die Räder an den Fahrzeugen der RTZ-Flotte werden bei den regelmässigen C3-Kontrollen (30-45 Tage) mit einer Sichtprüfung und Lehren in Bezug auf Hohllauf, Spurkranzverschleiss und eventuell Auswülbungen kontrolliert. Die Profile und Durchmesserunterschiede werden jährlich bei der ganzen Flotte gemessen. Die Profilmessungen und die erfolgte Analyse dienen hier dem Unterhalt und nicht der Untersuchung der Rad/Schiene-Interaktion.

### 5.1.5 Hohllauf-Auffälligkeiten

Ähnlich wie bei der MOB (siehe Kapitel 3.1.6) gibt es zwar keine mit der Hohllaufthematik bei der RfB in Zusammenhang gebrachten Schäden an Weichen, aber der tatsächliche maximale Hohllauf in der Radlauffläche befindet sich auch hier nicht zwingend auf der Messkreisebene, sondern näher am äusseren Rand (bei ca. 90 - 100mm von der Radrückenfläche). Diese Information betrifft die Linien der Bernina und Chur-Arosa. Zu den übrigen Linien gibt es dazu keine Informationen.

Der Hohllauf an den Laufflächen wird auch visuell kontrolliert, da dieser mit der Hohllauflehre an Fahrzeugen mit tatsächlichem Hohllauf lediglich gegen Radaussenseite nicht erfasst werden kann.

## 5.2 Analyse der Schäden

Die Räder aller Fahrzeuge werden visuell kontrolliert, je nach Fahrzeug zwischen einmal monatlich und einmal jährlich.

Die Lokführer können auch einen Meldezettel (Mängelmeldung) erstellen, wenn sie ein ungewöhnliches Verhalten (besonderes Verhalten des Fahrzeuges, Flachstellen, Lärm, usw.), das zum Beispiel durch Rundheitsabweichungen der Räder (Polygonisierung oder Flachstellen) entsteht oder vorhandenen Hohllauf feststellen. Die Werkstätten werden dann über einen Mangel benachrichtigt. Beim nächsten Durchlauf in der Werkstatt (für den Unterhalt oder eine andere Arbeit) wird der Zustand der Räder visuell und mit Lehren kontrolliert. Je nach der Beobachtung werden nach Erfahrung verschiedene Massnahmen ergriffen.

## 6 Schlussfolgerung

Die Analyse der Verschleissdaten der Räder bei den verschiedenen hier untersuchten Bahnunternehmen weist mehrere Ähnlichkeiten auf. In erster Linie dienen die Messungen der Unterhaltsplanung und der Analyse des Verschleisses, insbesondere wenn er übermässig wird. Auch wenn jedes Unternehmen seine interne Lösung entwickelt, gehen doch alle in die gleiche Richtung.

Der aktuelle Stand der Auswertung ist schon bei den hier untersuchten Eisenbahnen sehr unterschiedlich, und viel mehr noch, wenn alle Schweizer Meterspurbahnen betrachtet werden. Analysiert werden die Daten der letzten Messung, die Entwicklung der Grössen, die Entwicklung des Profils und die Verschleissprognosen.

Auch bei der Darstellung der Daten herrscht grosse Vielfalt, von einem PDF-Bericht, über Grafiken und Excel-Tabellen bis hin zu einer Webseiten-Schnittstelle. Und schliesslich sind auch der Automatisierungsgrad der Messungen und deren Analyse sehr unterschiedlich. Bei BERNMOBIL sind die Messungen und Datenübermittlung vollständig automatisiert, aber es werden nur einige Grössen analysiert. Bei den anderen Unternehmen erfolgt mindestens ein Teil manuell: Messung, Dateiweitergabe oder manuelle Eingabe der Messwerte. In dieser Hinsicht haben nicht alle Eisenbahnen unbedingt die gleichen Bedürfnisse. Für eine kleine Flotten ist nicht zwingend ein vollautomatisierter Prozess erforderlich. Mit Ausnahme der RBS erstreckt sich die Analyse hauptsächlich auf die Überwachung der Sicherheitsgrössen.

Bevor eine vollumfängliches Analysesystem eingeführt wird, bleibt als wichtiger Punkt die Datenqualität, die nicht überall gewährleistet ist. Die Ursachen können technischer oder menschlicher Natur sein. Bestimmte Bahnen messen zum Beispiel den Radrückenabstand nicht, mit der das Spurmass und das Leitmass berechnet werden kann und wofür in der RTE 29500 verbindliche Vorgaben bestehen.

Die Beispiele zeigen die teilweise sehr grossen Unterschiede auf, die sich aus Erfahrung oder Gewohnheiten ergeben. Jedes Unternehmen entwickelt seine eigenen Analysetools und Auswertungskriterien. Mit Blick auf eine Vereinheitlichung und Verbesserung der Analyse, aber auch auf die Entwicklung einer besseren Beherrschung des Rad-Schiene-Kontaktes durch einen Erfahrungsaustausch und einer engeren Zusammenarbeit der Bahnen bei der Entwicklungsarbeit von neuen Analysetools, zeigt sich das Bedürfnis nach einer gemeinsamen Grundlage. Sie sollte die Nutzung verschiedener Messgeräte und vor allem auch den intensiven Erfahrungsaustausch ermöglichen und so die vielfältigen Bedürfnisse aller Unternehmen erfüllen.

## 7 Verzeichnisse

### 7.1 Referenzen

- [1] Aufdenblatten, M. (08.11.2023). Vom Excel zur vollautomatisierten Web Lösung, Radreifen Überwachung, BERNMOBIL.

### 7.2 Abbildungen

Abbildung 1: Überfahrmessanlage von TALGO für die Radprofile. [1].....	6
Abbildung 2: Datenlese-Schnittstelle. Darstellung der Alarm- und Warnmeldungen.....	6
Abbildung 3: BERNMOBIL-Schnittstelle für die Analyse des Verschleisses an den Rädern. Raddurchmesser (durchgezogene Linie; Achse links) und Spurkranzdicke (gestrichelt; Achse rechts) über der vom Fahrzeug zurückgelegten Distanz. Bei der Reprofilierung verringert sich der Durchmesser sofort und die Spurkranzdicke wird an allen Rädern wieder identisch. Die Zunahme des Durchmessers bedeutet ein Radsatztausch.....	7
Abbildung 4: Analyseschema des Verschleisses (links) und der Schäden an den Rädern (rechts) der MOB von 2013.....	8
Abbildung 5: A.U.R.A. Wheel (von der MOB bis 2023 eingesetzt). Für ein Fahrzeug werden alle Grössen des Profils dargestellt. Falls ein Wert die Warnstufe (bzw. den Toleranzbereich) überschreitet, wird die Zeile orange, bzw. rot unterlegt. In diesem Beispiel sind die Raddurchmesser der Radsätze 3 und 4 kleiner als das Warngrenzmass. Die betreffende Grösse wird fett angezeigt. Diese Warnungen werden für die Unterhaltsplanung verwendet. ....	9
Abbildung 6: Analyse mit dem A.U.R.A. Wheel-Programm. In Blau das gemessene Profil, in Gelb das Nominalprofil, das einer idealen Reprofilierung entspricht. Die rote Linie zeigt den Berührungspunkt zwischen den beiden Profilen. Dies entspricht dem Punkt des Profils mit dem höchsten Verschleiss seit der letzten Reprofilierung. Beim Verschleiss des Spurkranzes liegt die rote Linie an der Spurkranzflanke. So kann rasch festgestellt werden, wo der Hauptverschleiss eingetreten ist (in der Lauffläche oder an der Spurkranzflanke). ....	10
Abbildung 7: Histogramm der radialen Verschleissrate (Verschleissrate am Radradius in mm pro 10'000km für die Fahrzeuge der Serie 9000 (Abe und Be 4/4). Der Ordinatenwert zeigt die Häufigkeit des Verschleisses. In einem Viertel der Fälle liegt der Verschleiss bei 0.5 bis 0.6mm/10'000km. ....	10
Abbildung 8: Entwicklung der Spurkranzdicke des Fahrzeuges 9303 in Excel. Am 17.01.2023 erfolgte eine Neuprofilierung. Die Spurkranzdicke der Räder rechts sank bis im April 2023 stark. Anschliessend stieg die Dicke an allen Rädern.....	11
Abbildung 9: Vergleich der Durchmesser bei einem GTW (Fahrzeug 7501) und der vom Fahrzeug befahrenen Linien. Achse links: zwischen zwei Profilmessungen zurückgelegte Distanz in km auf jeder Linie (Säulen). Achse rechts: im Radius verbleibende mm (Linien). Die Farbe in den Säulen zeigen den Anteil der befahrenen Linien. «moy»: Mittelwert der Räder; «BM»: Triebdrehgestell; «BP»: Laufdrehgestell; «G»: links; «D»: rechts.....	12
Abbildung 10: Messung von $q_R$ , $S_d$ und $S_h$ nach Vorgaben für Meterspur (grün) / Normalspur (orange); Messkreisebene bei 57 bzw. 70 mm von der Radrückenseite.....	12
Abbildung 11: Messung des tatsächlichen Hohllaufs. «Blau»: gemessenes Radprofil; «Rot» Nominalprofil. Das Kreuz entspricht dem wahrlichen Minimalpunkt auf der Lauffläche, weit ab der Messkreisebene. Das Quadrat entspricht dem örtlichen Maximum. In diesem Fall beträgt die Differenz der beiden Punkte, also dem tatsächlichen Hohllauf 0.9mm. Dies obwohl gemäss RTE kein Hohllauf besteht, wenn ab dem Radrücken bei 57mm gemessen wird. ....	13
Abbildung 12: Vom CALIPRI erstellter Bericht. ....	15
Abbildung 13: Messdaten. Die Verarbeitung der Daten bewirkt, dass jede Linie zweimal angezeigt wird. Dies hat keine Auswirkungen auf die Analyse.....	15
Abbildung 14: R0/Drehgestelltausch an einem bestimmten Fahrzeug. Bei einer R0 werden der Kilometerstand und die Durchmesser jedes Radsatzes eingetragen. Beim Auswechseln eines Drehgestells, das seit der vorangegangenen R0 bereits im Verkehr war, wird auch dieser Kilometerstand eingetragen. ....	16
Abbildung 15: Darstellung der Auswertung und Prognosen. Die einzelnen Grafiken werden in den nachfolgenden Abbildungen erläutert.....	17

---

Abbildung 16: Profile der Räder (durchgezogenen Striche, Skala rechts) und Veränderungen seit dem R0-Profil (gestrichelte Linien (Skala links)). Für jede Messung wird eine Linie hinzugefügt. Die Legende gibt die vom Fahrzeug zurückgelegten Kilometer bei der Profilmessung an.....17

Abbildung 17: Maximaler radialer Verschleiss nach Laufleistung. «Blau»: Rad rechts; «Orange»: Rad links. Für jeden Profilpunkt wird der Verschleiss berechnet. Für jede Messung ist hier der maximale Wert angegeben. In diesem Beispiel liegt der maximale Verschleiss bei ungefähr 2mm an der Radinnenseite (Spitzen der gestrichelten Linien in Abbildung 16). Dies entspricht dem radialen Verlust zwischen der letzten R0 und einer idealen theoretischen R0. .... 18

Abbildung 18: *Entwicklung der Spurkranzdicke eines Fahrzeuges mit den beiden Überfahrmessanlagen der RhB.*.....19

Abbildung 19: *Profile des rechten und linken Rades. Man erkennt die Messungenauigkeiten auf der Lauffläche.*.....19

Abbildung 20: Entwicklung des Verschleisses im Vergleich zur Laufleistung nach Reprofilierung. Die Studie läuft noch. Diese Daten sind provisorisch. Das Radprofil Typ A der RTE 29500 wird bei den R0 verwendet. In den ersten 10'000km ist der Verschleiss viel grösser als später. «MDG»: Motordrehgestell; «LDG»: Schweres Laufdrehgestell (Steuerwagen unter dem Führerstand); «LDG MWC/D»: Leichtere Laufdrehgestelle der Zwischenwagen C und D. ....21