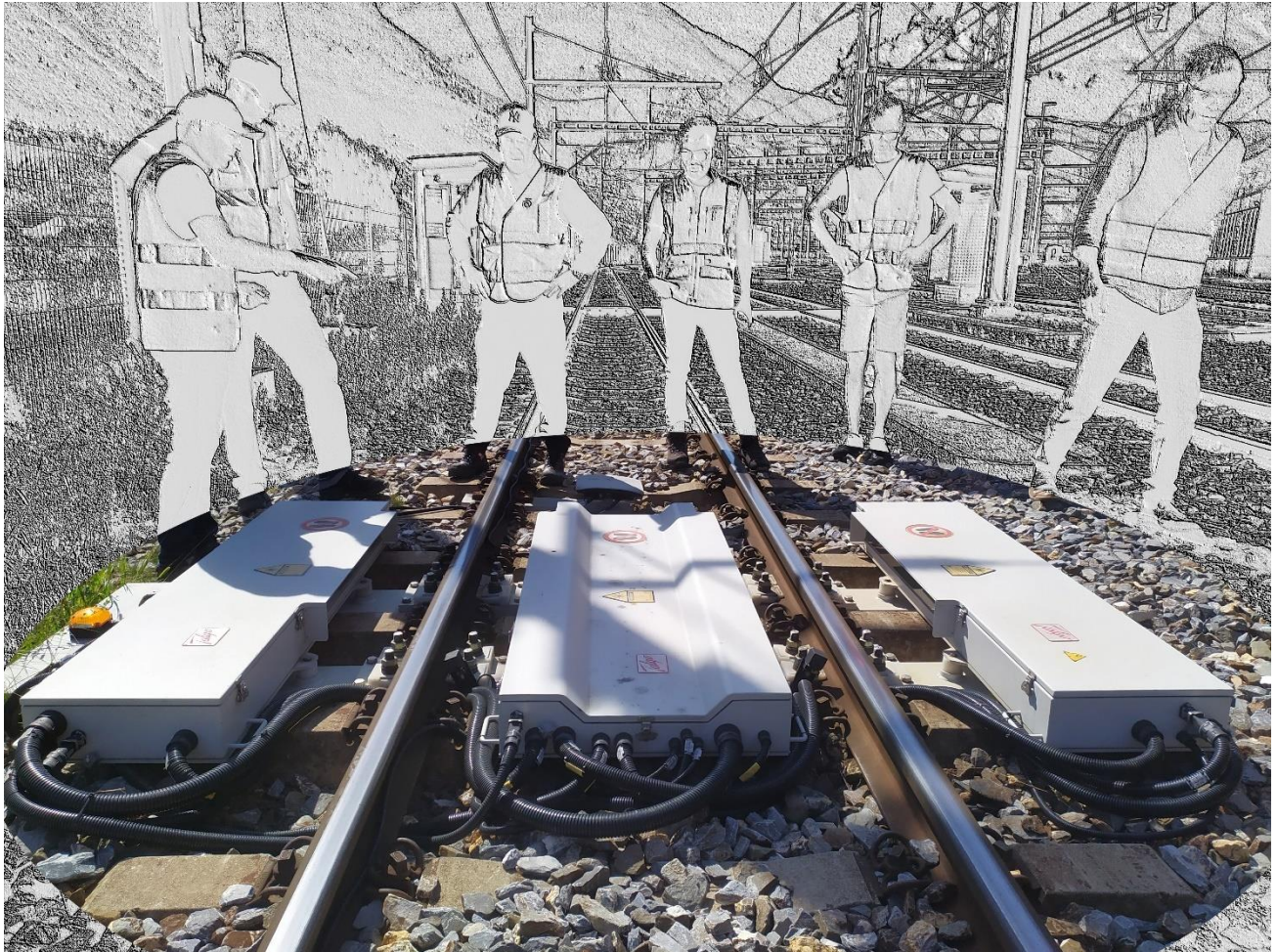


LO 5.1.4

Integration der Mess- und Auswertetechnik bei den Bahnen

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug – Fahrweg Meterspur
Projekt: 3 Grundlagen Rad / Schiene
Modul: 5 Hard-/Software für Erfassung, Auswertung und Bewertung

Technischer Bericht



Messanlage in Glisergrund bei der MGB [PRJMA GmbH]

ID: RAILPlusSF-00025

Datum / Status: 03.05.2024 / Freigegeben

Seitenanzahl 23

Verfasser: Mauro Saputelli / PRJMA GmbH

Geprüft: Niklaus Ritter / Zentralbahn (PL 2)

Freigegeben: Friedrich-Christian Walther / Zentralbahn (PL 3)

Zitierweise: Mauro Saputelli, RAILplus / PRJMA: *Integration Mess- und Auswertetechnik bei den Bahnen* Technischer Bericht, RAILPlusSF-00025, 03.05.2024

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	28.10.2023	Mauro Saputelli	Erster Entwurf
0.2	01.11.2023	Mauro Saputelli	Bereinigter Entwurf.
0.3	29.10.2023	Niklaus Ritter	Prüfung
1.0	29.02.2024	Mauro Saputelli	Bereinigung
1.1	03.05.2024	Friedrich-Christian Walther	Schlussbereinigung und Freigabe

Freigabe durch die Systemführerschaft

Version	Verantwortlich	Datum
1.1	Technical Board	23.05.2024
1.1	Management Board	13.06.2024

Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

Abkürzungsverzeichnis

AM	Assetmanagement / Anlagenmanagement
BT	Bluetooth (Drahtlose Kommunikation für kurze Distanzen)
CMM	Capability Maturity Model; Reifegradmodell zur Beurteilung der Qualität des Softwareprozesses
CALIPRI	Optisches Prüfsystem für Messungen von Eisenbahnradern und Schienen
CSV	Comma-separated values; Aufbau einer Textdatei für einfach strukturierte Daten
JSON	JavaScript Object Notation; Das JSON-Format unterstützt strukturierten Informationsaustausch mittels einer Textdatei
XML	Extensible Markup Language; Das XML-Format unterstützt strukturierten Informationsaustausch mittels einer Textdatei
DB	Datenbank; database
ERP	Enterprise Resource Planning (Unternehmensressourcenplanung)
TXT	Textfile
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LCC	Life-Cycle-Cost; Lebenszykluskostenrechnung
RDS	Rail Data Service (Serviceunterstützung für Schienenfahrzeuge)
RFID	Radio-Frequency Identification; kontaktlose Datenaustausch zwischen einem RFID-Transponder am Fahrzeug und einem RFID-Lesegerät bei der Messanlage
RTE	Regelwerk Technik Eisenbahn
SCRUM	Agile Methoden im Projekt- und Produktmanagement, insbesondere in der Softwareentwicklung.
SERSA	Die Sersa Group, eine Abkürzung für „Soudage électrique des rails S.A.“, ist ein international tätiges Schweizer Bahntechnikunternehmen.
WLAN	Wireless Local Area Network

Glossar

wireless	Drahtlose Kommunikation (Bluetooth; WLAN; usw.)
----------	---

Management Summary

Ausgewertete Daten sind essenziell für die Generierung von nützlichen Informationen. Um ein tiefgehendes Verständnis zu erlangen, sind verknüpfte Informationen unabdingbar. Mehr Wissen ermöglicht bessere Entscheidungen.

Dieser Bericht beschäftigt sich mit der Handhabung von Messdaten und der Entwicklung von Prozessabläufen zur Optimierung der Radsatzbewirtschaftung.

Im vorliegenden Bericht werden die typischen Prozesse für die Wartung von Radsätzen bei Meterspurbahnen umfassend dargelegt. Es werden potenzielle Optimierungsansätze identifiziert und darauf aufbauend Lösungswege erarbeitet, die sich durch die fortschreitende Informatik-Technologie ergeben.

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf einer konkreten Lösung zur Digitalisierung des Radsatzmanagementsystems, welche im Bericht ausführlich beschrieben wird. Diese Lösung basiert auf internationalen Normen des ISO-55001-Asset-Managements und integriert zudem modernste Industrie 4.0-Technologien.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden verschiedene Aspekte des Radsatzmanagements bei Meterspurbahnen analysiert. Dazu gehören:

- Die aktuelle und zukünftige Systemarchitektur für das Radsatzmanagement.
- Die Methoden zur Datenerfassung der Radsätze bei den Bahnen.
- Die Zielorte und Speicherorte für die erfassten Daten.
- Der Grad der Automatisierung beim Datenaustausch zwischen den verschiedenen Messgeräten wie SAP, Drehbanken und ortsfesten Anlagen.
- Die Verarbeitung der Daten: Werden sie lediglich erfasst und gespeichert oder auch interpretiert?
- Bei einer Datenanalyse, wie beispielsweise einer Trendanalyse mit Leistungsbezug, wo werden die Ergebnisse gespeichert?
- Die Definition der Prozesse für das Radsatzmanagement.
- Die Art der angewandten Automatisierungen durch die Bahnen.

In Anlehnung an die Capability Maturity Model (CMM)¹ werden fünf Entwicklungsstufen definiert. Die Entwicklungsstufen gehen von Null aus und enden mit der höchsten Stufe 5. Um das Ziel zu erreichen, müssen die Stufen nacheinander durchlaufen werden. Jede höhere Stufe baut auf den niedrigeren Stufen auf, wodurch die jeweilige niedrigere Stufe eine Voraussetzung für die nächsthöhere ist.

Im Kontext der Datenbefähigung werden im Weiteren verschiedene Stufen von der reinen Datenerfassung bis hin zum umfassenden Austausch von Daten und Informationen entlang der gesamten Lieferkette von Rädern und Radsätzen definiert. Diese umfassen den gesamten Prozess von der Lieferung über die Lagerung und den Austausch bis hin zur Entsorgung der Räder und Radsätze.

¹ Hildebrand, 2008

Inhalt

1	Ausgangslage.....	6
1.1	Problemstellung	6
1.1.1	Prozesse.....	6
1.1.2	Daten	6
1.1.3	Stationäre Messgeräte	7
1.2	Untersuchungsziel und Forschungsfragen	7
1.3	Abgrenzung.....	7
1.4	Vorgehenskonzept	8
2	Grundlagen	9
2.1	Vorhandene Literatur und Grundlagendokumente	9
2.1.1	Allgemeine Normen.....	9
2.1.2	Regelwerke Technik Eisenbahn (RTE).....	9
2.1.3	Umfrage bei den Bahnen.....	9
2.2	Datenstruktur.....	10
3	Betrieb und Unterhalt der Radsätze	11
3.1	Betrieb der Radsätze.....	11
3.2	Prozesse der Instandhaltung der Radsätze	12
4	Ergebnisse.....	14
5	Diskussion und weiteres Vorgehen.....	15
5.1	Empfehlungen	15
5.1.1	Kriterien.....	15
5.2	Ausbaustufen	18
5.2.1	Ausbaustufe 0	18
5.2.2	Ausbaustufe 1	18
5.2.3	Ausbaustufe 2	18
5.2.4	Ausbaustufe 3	18
5.2.5	Ausbaustufe 4	18
5.2.6	Ausbaustufe 5	19
5.2.7	Vernetzung der Elemente in der Ausbaustufe 5	19
5.2.8	Zusammenfassung der Ausbaustufen	20
5.2.9	Ausblick ab Ausbaustufe 5	21
5.3	Pendenzen	22
6	Verzeichnisse	23
6.1	Referenzen	23
6.2	Abbildungen	23
6.3	Tabellen	23

1 Ausgangslage

Für die Bewirtschaftung der Radsätze werden bei den Bahnen die Radprofile regelmässig gemessen, visuell begutachtet und mit vorgegebenen Grenzwerten verglichen, sowie anhand weiteren bei der Bahn festgelegten zusätzlichen Kriterien beurteilt. Die Messungen erfolgen automatisch mithilfe von ortsfesten im Gleis installierten Anlagen oder manuell mit mobilen Messgeräten.

Die Prozesse im Zusammenhang mit der Bewirtschaftung der Radsätze sind komplex und vermutlich teilweise je nach Erfahrung historisch gewachsen. Innerhalb einer Bahn sind mehrere Bereiche vom Einkauf über die Logistik bis hin zur Bearbeitung in den Werkstätten in die Prozesse eingebunden.

1.1 Problemstellung

Grundsätzlich existieren keine Daten ohne Prozesse und keine Prozesse ohne Daten. Ausgewertete Daten führen zu bestimmten Aktivitäten innerhalb der Prozesse. Bei jedem Schritt in einem Prozess werden die Informationen um zusätzliche Daten erweitert. Ein reibungsloses Zusammenspiel zwischen Prozessen und Daten erfordert einen automatisierten Austausch von Daten und eine computergestützte Prozesssteuerung.

Im Folgenden werden die Probleme im Bereich der Prozesse und der Messdatenerfassung beschrieben. Im Hinblick auf die Optimierung der Lebenszykluskosten von Radsätzen wurden im Bereich des Radmanagements Punkte mit erheblichem Verbesserungspotenzial identifiziert.

1.1.1 Prozesse

Die Bahngesellschaften überprüfen den Zustand der Radsätze gemäss einem Instandhaltungsplan. Die Intervalle für diese Überprüfungen werden aufgrund von Erfahrungswerten der Bahn festgelegt und basieren auf den Richtlinien. Bei der Planung von Instandhaltungsmassnahmen wird der Zeitpunkt der nächsten Intervention, beispielsweise eine Profilkorrektur, durch die festgelegten Werks-, Betriebs- oder Schadensgrenzmassen bestimmt.

Die Wartungsgrenzmassen können bei der Steuerung von Interventionen an den Radsätzen oft nicht berücksichtigt werden, da für die Berechnung dieser Masse Prognosen aus vorausschauenden Algorithmen erforderlich sind. Diese Algorithmen erfordern umfangreiche Datensätze sowie intelligente Logik und müssen auf der Grundlage von Erfahrungen und Lernprozessen kontinuierlich verbessert werden.

Die Erfassung und Weitergabe von Daten (z.B. aus der vorhergehenden Reprofilierung auf der Unterflurdrehbank) sowie aus weiteren Datenbanken wie z.B. aus dem ERP-System (km-Stand Fahrzeug, usw.) erfolgen manuell. Diese Daten werden vor der Erfassung der Radprofile manuell in die entsprechenden Messgeräte übertragen. Um das Datenmanagement und die Messprozesse zu optimieren werden heute nur bestimmte Daten berücksichtigt. Leider sind die Möglichkeiten zur Erfassung von noch nicht kodierten Informationen wie z.B. Schädigungen und Verschleiss an den Radlaufflächen, begrenzt, so dass andere wichtige zusammenhängende Beobachtungen nicht berücksichtigt werden können. Die kodierten Informationen würden dabei bei der Klassifizierung der Radsatzzustände unterstützen und die Einleitung ausgewählter Massnahmen ermöglichen.

1.1.2 Daten

Die Datenerfassung von Messgeräten bei den Bahnen erfolgt regelmässig entweder halbautomatisch oder manuell. Die Übertragung der Daten erfolgt bei einigen Geräten mittels portabler Datenträger. Bei anderen Messgeräten müssen die Daten von einem Papiausdruck (PDF) manuell abgetippt werden. Die Behandlung der Daten ist nicht systematisch und mit Medienbrüchen versehen. Diese Vorgehensweise ist nicht zeitgemäss und entspricht nicht den Anforderungen, digitale Technologien und Prozesse umfassend zu integrieren. Eine digitale Transformation umfasst die Neugestaltung von Geschäftsmodellen, Arbeitsweisen und Kundenerfahrungen durch den Einsatz digitaler Technologien. Beispiele

dafür sind die Implementierung von zentralen Computern, die Einführung von Algorithmen zur Bewertung von Radprofilen, die Automatisierung von Prozessen und die Nutzung von Datenanalysen zur Informationsgewinnung und Entscheidungsfindung. Die Daten müssen daher nicht mehr in lokalen Verzeichnissen gespeichert werden, um weitere individuelle Auswertungen zu ermöglichen. Stattdessen genügt es, wenn sie zentral gespeichert werden. Die Auswertung erfolgt ganzheitlich unter Berücksichtigung umfassender Aspekte.

Eine zusätzliche Herausforderung besteht darin, dass die Messgeräte produktspezifische Formate verwenden, die nicht standardisiert sind. Die Daten müssen vor der Weiterbearbeitung daher manuell konvertiert werden. Die nachgelagerte Bearbeitung der Daten ist aufwendig und risikobehaftet hinsichtlich der Datenkonsistenz und -qualität.

1.1.3 Stationäre Messgeräte

Stationäre Messgeräte eignen sich sehr gut für eine umfangreiche Datenerfassung über alle Fahrzeuge hinweg, da sie Messungen ohne manuelle Tätigkeiten durchführen. Es wurde jedoch festgestellt, dass sie nicht immer einwandfrei funktionieren. Obwohl sie nur für Instandhaltungszwecke eingesetzt werden, sind sie störungsanfällig. Die stationären Anlagen sind zudem der Witterung ausgesetzt und benötigen eine Wartung durch speziell ausgebildete Fachkräfte.

1.2 Untersuchungsziel und Forschungsfragen

Das Ziel dieses Lieferobjektes ist die Identifizierung von Optimierungsmöglichkeiten für bestehende Prozesse und Datenverarbeitung im Zusammenhang mit der Wartung der Radsätze bei Meterspurbahnen.

Dabei werden folgende Fragen behandelt:

- Wie werden momentan die Radsätze überwacht?
- Welche Prozesse werden angewendet?
- Können Optimierungen der bestehenden Prozesse und eine geeignete Systemarchitektur die Bewirtschaftung der Radsätze effizienter und effektiver abwickeln?
- Inwieweit ist der Datenaustausch zwischen den Messgeräten (SAP, Drehbank, ortsfeste Anlage, usw.) automatisiert?
- Werden die Daten auch ausgewertet und interpretiert oder nur erfasst und abgespeichert?
- Falls die Daten ausgewertet werden, z.B. Trendanalyse mit Leistungsbezugsgrößen, wo werden die Ergebnisse abgelegt?
- Sind die Prozesse definiert?
- Welche Automatisierungen werden bei den Bahnen angewendet?
- Welche Möglichkeiten gibt es, um die Bewirtschaftung von Radsätzen zu optimieren?
- Kann ein schrittweises Vorgehen realisiert werden?

1.3 Abgrenzung

In diesem Bericht werden Möglichkeiten zur Optimierung der Radsatz-Bewirtschaftung untersucht. Es wird keine Aussage über die Infrastruktur (Fahrbahn) oder die Fahrzeuge getroffen.

Die Messung und Überwachung der Gleisinfrastruktur und insbesondere der Schienenprofile mit einem Messfahrzeug sind bereits digitalisiert und werden in diesem Bericht nicht beschrieben. Diese Daten werden aber für die berührgeometrischen Betrachtungen benötigt. Dort wo solche Daten verfügbar sind, und für weitere Auswertungen benötigt werden, ist eine entsprechende Schnittstelle zu den

Radprofilen zu realisieren. In diesem Bericht wird die Schnittstelle mit den Messdaten der Schienenprofile nicht behandelt.

Im Weiteren werden in diesem Bericht keine Angaben zu den Beschaffungs- und Wartungskosten der vorgeschlagenen Lösung gemacht. Die Wirtschaftlichkeitsaspekte werden in einem separaten Projekt vertieft.

1.4 Vorgehenskonzept

Auf Basis von Interviews mit einigen Meterspurbahngesellschaften zu deren Werkzeugen und Prozessen wurde ein Konzept für ein stufenweises Vorgehen (Tabelle 1) zur Erreichung des Ziels eines digitalisierten und effektiven Radsatzmanagements erarbeitet. Die Bahnen MOB, RHB und RBS wurden konkret befragt und sowohl Stärken als auch Schwächen im Prozess der Überwachung des Zustands der im Betrieb stehenden Radsätze wurden erörtert.

Dabei konnten auch ihre Prozesserfahrungen und mögliche Optimierungen besprochen werden.

Nach einer Analyse des aktuellen Standes wurden die Potenziale und Anwendungsmöglichkeiten verschiedener Technologien zur Digitalisierung betrachtet, verglichen und anschliessend potenzielle Entwicklungen erarbeitet.

Eine schrittweise Entwicklung des gewünschten Zustands wurde zugrunde gelegt. Nach der Anpassung der internen Prozesse und nach der Einführung der neuen Technologien sollte bei Erreichen jeder Ausbaustufe unmittelbar Nutzen erzielt werden.

Auf diese Weise können Erfahrungen in jeder Ausbaustufe gesammelt und die Entwicklung von weiteren Ausbaustufen besser gesteuert werden.

2 Grundlagen

2.1 Vorhandene Literatur und Grundlagendokumente

2.1.1 Allgemeine Normen

Diese Dokumente wurden als Grundlage für den vorliegenden Bericht herangezogen:

- 1) ISO 9001:15: Qualitätsmanagement; PCDA und KVP
- 2) ISO 55001:2014: Managementsysteme; Anforderungen für Assetmanagement
- 3) EN 50126:2018: Spezifikation, Nachweise und RAMS
- 4) EN 15313: 2016: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle- Radsatzinstandhaltung

2.1.2 Regelwerke Technik Eisenbahn (RTE)

- 5) RTE 41000: Instandhaltung Radsätze für die Normalspur
- 6) RTE 41500: Instandhaltung Radsätze für die Meterspur
- 7) RTE 29500: Standardisierung Radsätze und Weichen - Meterspur
- 8) RTE 22540: Handbuch Fahrbahnpraxis Meterspur und Spezialspur

2.1.3 Umfrage bei den Bahnen

- 9) Ergebnisse zu Umfrage der Bahnen: Der Bedarf bei den Meterspurbahnen an einem optimierten Radsatzmanagement ist durch die Umfrage vom 30. Oktober 2021 belegt.

2.2 Datenstruktur

Für den Austausch von Daten bieten sich XML- oder JSON-Formate an. Diese Formate sind Textdateien mit eindeutigen Attributen und Werten.² Sie haben eine hierarchische Struktur ähnlich einem Baumdiagramm. Die Datenpakete für Fahrzeuge, Radsätze und Räder (links, rechts) können verschachtelt dargestellt werden.

Momentan werden auch CSV-Dateien generiert. Jedoch ist das CSV-Format für komplette Radsätze mit mehreren Datenschichten weniger geeignet, da diese zweidimensional aufgebaut sind.

Die Abbildung 1 zeigt eine strukturierte Darstellung der Messwerte einer Zugskomposition. Dieses Datenformat kann mithilfe einer XML-Datei aufgenommen werden. Auch diverse Arten von Schäden an den Rädern können in einer XML-Datei gespeichert werden. Zurzeit werden jedoch Schäden an den Rädern nicht in einer digital auswertbaren Form erfasst.

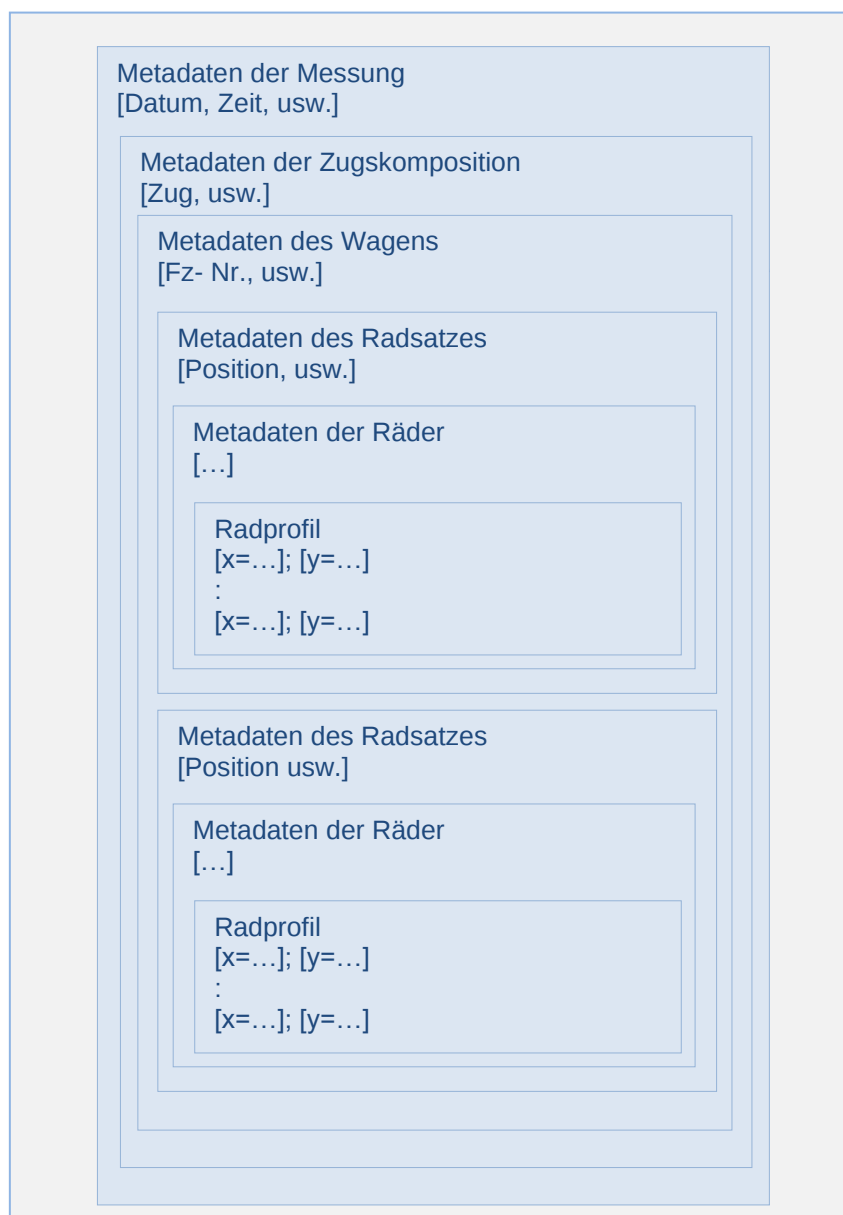


Abbildung 1: Hierarchische und verschachtelte Struktur der erfassten Daten

² (Balzert, 2009)

3 Betrieb und Unterhalt der Radsätze

In diesem Kapitel werden die Abläufe bei der Handhabung der Radsätze während des Bahnbetriebs geschildert. Die Angaben basieren auf Interviews mit fachkundigen Mitarbeitern bei den Bahnen. Siehe Umfrage 9) und Lieferobjekt 5.1.2.

Es werden die aktuellen Prozesse beschrieben und mögliche Optimierungen vorgestellt. Die Voraussetzungen für die Optimierungen werden in weiteren Kapiteln dieses Berichts dargestellt.

3.1 Betrieb der Radsätze

Die Radsätze sind während des Betriebs Verschleiss unterworfen. Dabei wird die Veränderung der geometrischen Abmessungen der Radprofile regelmässig durch das Personal mit Hilfe von Messgeräten überwacht. Es ist daher wichtig, nach der Überprüfung allfällige Massnahmen für die Bearbeitung dieser Radprofile einzuleiten. Zur Verbesserung der Effektivität des Schienenverkehrs sollten die bahnbetrieblichen Abläufe zur Überwachung der Radprofilaten optimiert werden. Ungünstige Formen bei den Radprofilen haben negative Auswirkungen auf die Fahrsicherheit, verursachen ein instabiles Fahrverhalten, verschlechtern den Fahrkomfort und führen zu erhöhtem Rad- und Schienenverschleiss sowie zu starken Lärmemissionen.

Die Abbildung 2 zeigt den Verlauf des Raddurchmessers während des Betriebs. Der Durchmesser des Rades verringert sich aufgrund des Laufflächen- und Reprofilierungsverschleisses. Die Profile der Räder werden in regelmässigen Abständen von Hand oder automatisch gemessen. Jeder Punkt im Diagramm entspricht einer Messung. Die Diskontinuitäten entsprechen der Reduktion der Raddurchmesser bei der Reprofilierung (Reprofilierungsverschleiss).

Bevor das Profil die Betriebsgrenzmasse erreicht, werden die Räder in der Werkstätte überdreht. Dies setzt jedoch voraus, dass die Bahn mit einer entsprechenden Bearbeitungsmaschine ausgerüstet ist. Andernfalls werden die Radsätze ausgebaut und einem Bearbeiter zugeführt.

Es sollte angestrebt werden, die Werkgrenzmasse unter Berücksichtigung der Messintervalle zum Zeitpunkt der Reprofilierung in Betracht zu ziehen. Der optimale Zeitpunkt kann durch eine Auswertungssoftware (Trendanalyse) ermittelt werden. Durch die Überwachung des Werks- bzw. Wartungsgrenzmasses kann der Zeitpunkt der Reprofilierung gezielt gesteuert werden, sodass bei den Rädern weniger Material abgetragen wird und somit eine unnötig grössere Abnahme des Durchmessers bei den Reprofilierungen verhindert wird.

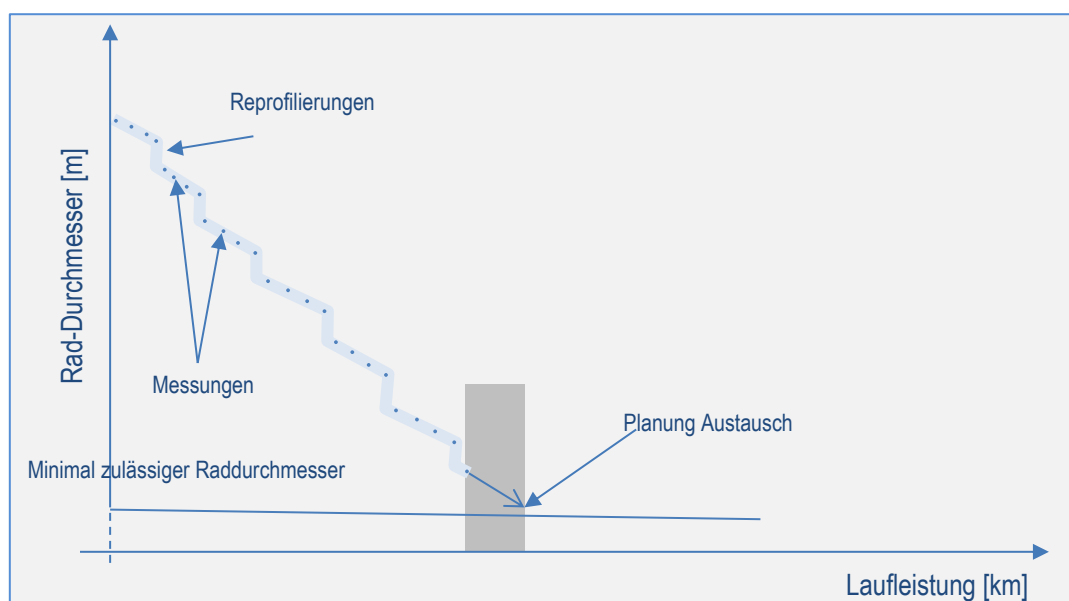


Abbildung 2: Durchmesser eines Rades während des Betriebs

Das Ziel besteht darin, die Wartungsintervalle so festzulegen, dass eine Reprofilierung erst dann durchgeführt wird, wenn die Werkgrenzmasse überschritten werden und die Betriebsgrenzmasse während des darauffolgenden Wartungsintervalls nicht überschritten werden. Hierfür sind fahrzeugspezifische und einsatzspezifische Kriterien erforderlich, die eine Trendanalyse generieren können.

Eine vorausschauende Berechnung des Zustands der Räder ermöglicht nicht nur eine Reduzierung der Lebenszykluskosten der Räder, sondern auch eine effektivere Ressourcenplanung (Personal/Material).

3.2 Prozesse der Instandhaltung der Radsätze

Die Wartung der Radsätze erfolgt anhand von präventiven und korrektiven Eingriffen, die in der EN 13306 beschrieben sind. Gleichzeitig laufen Prozesse zu kontinuierlicher Verbesserung des Radprofils. Das Ablaufdiagramm in Abbildung 3 zeigt die präventiven und korrektiven Massnahmen. Die Verbesserungen gemäss EN 13306³ finden laufend statt, wurden jedoch im Diagramm ausgelassen.

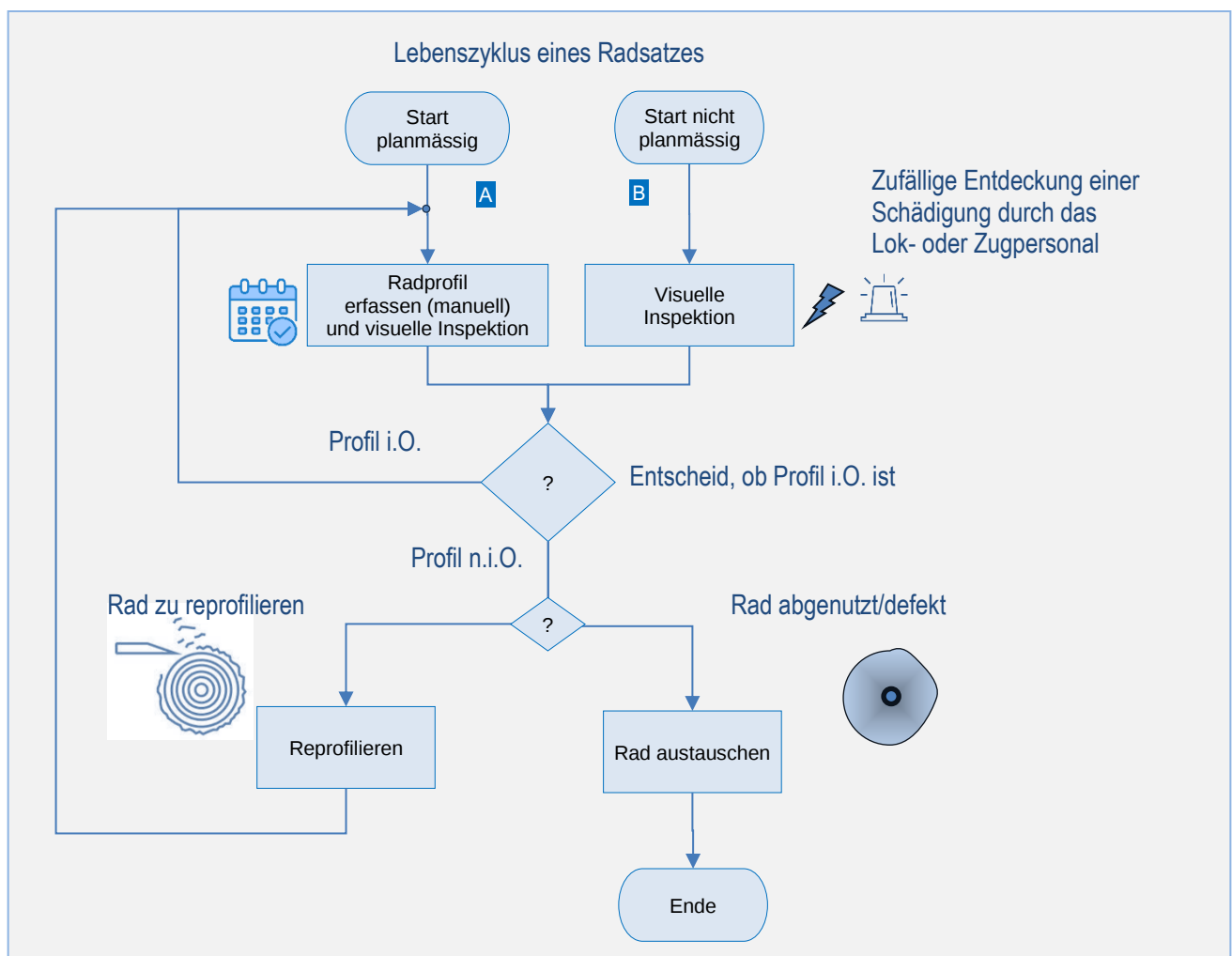


Abbildung 3: Ablaufdiagramm Instandhaltung eines Radsatzes

Der linke Ast **A** beschreibt die präventive Instandhaltung, während der rechte Ast **B** die korrektive Instandhaltung beschreibt.

³ EN 13306, Kap 7.6

Die präventive Instandhaltung (Ast **A**) dient hauptsächlich der Überwachung des Radverschleisses und der Feststellung von beginnenden Schädigungen (Risse, Ausbrüche, usw.). Diese wird durch regelmäßige Messungen der Radprofile durchgeführt, entweder abhängig von bestimmten Zeitabständen oder in Abhängigkeit von den Laufleistungen. Nach der manuellen oder automatischen Erfassung des Radprofilzustandes wird entschieden, ob das Rad reprofiliert werden kann oder ob es so stark abgenutzt ist, dass es ausgewechselt werden muss.

Sollte ein Schaden an einem Rad durch Zufall oder nach einer Messung festgestellt werden (siehe Ast **B**), wird geprüft, ob eine Beseitigung durch Reprofilierung möglich ist. Wenn der Schaden nicht repariert werden kann, wird der Radsatz ausgewechselt.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse des vorliegenden Berichts beziehen sich auf verschiedene Aspekte der Datenerfassung und -verarbeitung im Kontext des Radsatzmanagements für Meterspurbahnen.

Ein wichtiger Aspekt ist die automatische Messung der Radprofile durch stationäre Messgeräte, die für die Instandhaltung der Radsätze eingesetzt werden. Die Daten aus den stationären Messgeräten können auch zur Optimierung der Radprofile verwendet werden. Diese wurden einer eingehenden Prüfung unterzogen, und es wurde festgestellt, dass sie keine zuverlässigen Daten liefern. Aufgrund von Vibrationen sind die Daten nicht präzise genug für eine automatisierte Auswertung zur Optimierung der Radprofile. Daher empfiehlt es sich, die ausgewählten Standorte zu überprüfen, um sicherzustellen, dass sie geeignet sind. Insbesondere sollten Standorte für die Installation von Messgeräten ausgewählt werden, an denen die Fahrzeuge mit niedrigen Geschwindigkeiten darüberfahren.

Es wurde festgestellt, dass die Struktur der Messdaten von stationären und mobilen Geräten standardisiert werden muss, um einen reibungslosen Austausch mit anderen Geräten wie Unterflur-Drehbänken sicherzustellen. Dazu gehört auch die automatische Datenübertragung zwischen den Geräten, um Effizienz und Genauigkeit zu gewährleisten. Die Unterflur-Drehbänke müssen dafür auch eine Schnittstelle für den Datenaustausch bereitstellen.

Zusätzlich zu den technischen Anforderungen wurde erkannt, dass eine einheitliche Software für alle Meterspurbahnen beschafft werden muss, um eine konsistente Datenerfassung und -verarbeitung zu gewährleisten. Zusätzlich sollten einheitliche Grundprozesse mit bahnspezifischen Teilprozessen für das Radsatzmanagement entwickelt werden, um die Effizienz und Zuverlässigkeit der Prozesse zu verbessern.

Schliesslich wurde festgestellt, dass standardisierte Datenschnittstellen für den Austausch mit den Lieferanten erarbeitet werden müssen, um eine nahtlose Integration von externen Systemen zu ermöglichen und die Zusammenarbeit zu erleichtern. Diese Massnahmen sind entscheidend, um die Qualität der Daten zu verbessern und eine effektive Optimierung des Radsatzmanagements auf Meterspurbahnen zu ermöglichen.

5 Diskussion und weiteres Vorgehen

In diesem Kapitel werden verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten für das Radsatzmanagement bei Meterspurbahnen vorgestellt. Dabei wird darauf eingegangen, dass die heutige Technologie und das vorhandene Know-how den Bahnen zahlreiche Optimierungspotenziale im Bereich der Radsatzbewirtschaftung bieten.

5.1 Empfehlungen

Eine automatisierte und digitalisierte Radsatzbewirtschaftung kann in mehreren Schritten erreicht werden. Im Folgenden werden die Schritte als Ausbaustufen aufgeführt, denen Kriterien von A bis G zugeordnet sind.

Je nach Grösse der Bahn können die Ausbaustufen so optimiert werden, dass bei kleinen Bahnen keine höheren Ausbaustufen erforderlich sind. Bei Bedarf können die Ausbaustufen gemeinsam mit anderen Bahnen realisiert werden.

Die sieben identifizierten Kriterien sind als Vorschlag zu verstehen. Sie werden unter Berücksichtigung der Technik und der Prozesse sinnvoll abgegrenzt.

Die Umsetzung fortgeschrittener Ausbaustufen ist wirtschaftlich sinnvoll, sofern sie in Zusammenarbeit mit anderen Meterspurbahnen erfolgt. Die Ausführung der tieferen Ausbaustufen, wie die Erfassung und Übertragung von Radprofilen, sollte jedoch von den einzelnen Bahnen durchgeführt werden.

5.1.1 Kriterien

Das Ziel kann schrittweise erreicht werden. Die Ausbaustufen sind aufeinander abgestimmt. Sobald eine Ausbaustufe erreicht ist, kann die Bahn davon profitieren.

In den folgenden Kapiteln werden die notwendigen Voraussetzungen für Ausbaustufen beschrieben.

5.1.1.1 Kriterium A (minimale Anforderungen)

Kriterium A ist erfüllt, wenn trotz Verwendung einer Messanlage oder manueller Messeinrichtung keine zuverlässigen Messwerte erfasst werden können. Die Kontrolle der Radsätze erfolgt dann visuell bzw. mit Messlehren oder nach Rückmeldungen von Lok- /Zugpersonal.

5.1.1.2 Kriterium B (regelmässige Messungen)

Für eine erfolgreiche Überwachung der Radsätze ist es notwendig, dass die Radprofile regelmässig gemessen werden und die Messsysteme zuverlässige sowie reproduzierbare Ergebnisse liefern.

Wenn Kriterium B erfüllt ist, kann in Kombination mit Kriterium C Reifestufe 1 erreicht werden.

5.1.1.3 Kriterium C (manuelle Auswertung)

Messdaten werden von den Messanlagen und manuellen Messeinrichtungen als Output generiert und auf einem ausgedruckten Blatt oder einem Monitor angezeigt. Die Daten werden nicht automatisch an andere Systeme weitergegeben, da die Anlagen nicht vernetzt sind. Die Interpretation der Daten erfolgt objektiv und aufgrund der fachlichen Expertise der Personen.

Wenn Daten manuell verarbeitet werden, beispielsweise durch manuelle Erfassung oder Abtippen, kommt es zu einer Schnittstelle, die als Medienbruch bekannt ist.

Dieses Kriterium und Kriterium B sind erforderlich für die Erreichung der Reifestufe 1.

5.1.1.4 Kriterium D (vereinfachte halbautomatisierte Auswertung)

Der Datenaustausch mit anderen Umsystemen erfolgt gemäss Kriterium D entweder über einen Datenträger oder manuell via wireless BT/WLAN. Das Datenformat muss für andere Umsysteme lesbar und interpretierbar sein.

Für den Austausch wird üblicherweise eine TEX-Datei statt einer binären Datei verwendet. Diese kann als csv, xml oder json strukturiert sein.

Die Daten einer Zugkomposition können in hierarchisch aufgebauten xml- oder json-Dateien gespeichert werden. Diese enthalten Informationen wie Datum, Uhrzeit, Zugkomposition, Wagen, Radsatz und Rad.

Weiterhin müssen die Radsätze zur Datenzuweisung bei der Erfassung der Messwerte identifiziert werden. Für die Datenzuweisung ist es erforderlich, dass die Fahrzeuge und Reihenfolge der Radsätze manuell zugewiesen werden.

Mit Kriterium D wird die zweite Ausbaustufe erreicht.

5.1.1.5 Kriterium E (automatisierte Erfassung)

Kriterium E erfordert einen automatisierten Datenaustausch über ein LAN-Netzwerk mit einem Übertragungsprotokoll.

Beim Kriterium D müssen die Fahrzeuge und Radsätze mit RFID-Tags erkennbar sein, um Messdaten dem jeweiligen Fahrzeug und entsprechendem Radsatz zuzuordnen.

Durch die Erfüllung von Kriterium E wird Ausbaustufe 3 erreicht.

5.1.1.6 Kriterium F (automatisierte Trendanalyse mit Alarmauslösung)

Das Kriterium F erfordert, dass das zentrale System eine Interpretation der Daten vornehmen kann. Hierdurch können aktive Meldungen, beispielsweise Alarme, ausgelöst oder Trendanalysen durchgeführt werden.

Die Erfüllung von Kriterium F führt zur Erreichung von Ausbaustufe 4.

5.1.1.7 Kriterium G (vollständiger automatisierter Datenaustausch)

Basierend auf Kriterium F können die relevanten Daten mit dem internen Radsatz-Ersatzteillager vernetzt und mit dem Beschaffungswesen ausgetauscht werden.

Die Ausbaustufe 5 wird durch Kriterium G erreicht.

5.1.1.8 Zusammenfassung der Kriterien

Die Kriterien sind in der untenstehenden Tabelle 1 zusammengefasst. Diese Tabelle kann als Formular zur Bestimmung der aktuellen Ausbaustufen bei den Bahnen verwendet werden.

In der ersten Spalte sind Kriterien von A bis G definiert, welche die Ausbaustufen von 0 bis 5 bestimmen.

Das Optionsfeld ☐ (Radio-Button) wurde platziert, wo sich die Optionen gegenseitig ausschliessen. Ein Kriterium kann nur für eine Ausbaustufe ausgewählt werden.

Das Kontrollkästchen ☐ (Checkbox) ist unabhängig von den anderen Kontrollkästchen in der Liste. Ein Kriterium kann für eine oder mehrere Ausbaustufen gelten.

Kriterien	Reifestufe/Ausbaustufe	0	1	2	3	4	5
A) Die Messanlagen sind vorhanden, wurden jedoch bisher nicht in Betrieb genommen. Die Messresultate können daher nicht als zuverlässig betrachtet werden.		☒	☐	☐	☐	☐	☐
B) Messanlagen sind vorhanden. Die Messungen sind zuverlässig. Die Messungen erfolgen manuell oder automatisch.		☐	☒	☒	☒	☒	☒
C) Die Messdaten werden mittels visueller Auswertung (auf Papier oder Monitor) analysiert. Die Interpretation der Daten findet im Anschluss bei geschultem Personal.		☐	☒	☐	☐	☐	☐
D) Der Datenaustausch erfolgt manuell über Datenträger oder drahtlose BT/WLAN-Verbindung mit manueller Auslösung. Datenformat: txt-Format (csv; xml; json).		☐	☐	☒	☐	☐	☐
E) Der Austausch von Daten geschieht automatisch durch die Vernetzung mit einem spezifizierten Übertragungsprotokoll.		☐	☐	☐	☒	☒	☒
F) Eine semantische Interpretation der Daten wird durchgeführt. Die automatische Analyse der Daten ermöglicht folgenden Aktivitäten: Aktive Meldungen, Planung der Arbeiten, Trendanalyse und Auftrags- und Ressourcenplanung.		☐	☐	☐	☐	☒	☒
G) Die Vernetzung mit externen Partnern und Lieferanten ist etabliert. Gemeinsame abgestimmte Prozesse werden angewendet und die Basis für die Weiterentwicklung (KVP) ist geschaffen.		☐	☐	☐	☐	☐	☒

Tabelle 1: Übersicht der Kriterien für die Ausbaustufen

5.2 Ausbaustufen

In den folgenden Unterkapiteln werden die Merkmale der Ausbaustufen beschrieben. Dabei werden auch die Möglichkeiten der einzelnen Ausbaustufen dargestellt.

5.2.1 Ausbaustufe 0

Bei dieser Stufe ist nur eine visuelle oder akustische Überwachung durch das objektgebundene Personal möglich. Das objektgebundene Bahnpersonal ist physisch an oder in den Fahrzeugen anwesend.

Ein Eingreifen ist nur im Schadensfall möglich.

5.2.2 Ausbaustufe 1

Wenn die Messeinrichtungen zuverlässige Messwerte liefern, werden aufgrund der Messergebnisse Massnahmen eingeleitet. Die Grenzwerte sind durch die zulässigen Betriebsgrenzmasse definiert.

5.2.3 Ausbaustufe 2

Mit der Ausbaustufe 2 können die Daten der Erfassungsgeräte zur Weiterverarbeitung genutzt werden. Der Datenaustausch zwischen den Umsystemen einschliesslich der Datenkonvertierung erfolgt manuell.

5.2.4 Ausbaustufe 3

Eine manuelle Übertragung ist nicht erforderlich. Sobald die Anlage gemessen hat, werden die Daten automatisch zum Server übertragen. Die Messanlagen (z.B. Drehbank, CALIPRI) sind miteinander vernetzt. Es gibt keine manuelle Dateneingabe mehr. Der Datenaustausch erfolgt automatisch über Vernetzung / Protokoll.

5.2.5 Ausbaustufe 4

Erst mit der Ausbaustufe 4 können die Messdaten in einem zentralen Rechner mit einer geeigneten Software ausgewertet und interpretiert werden. Durch die Interpretation der Daten können aktive Meldungen abgesetzt sowie Arbeiten und Ressourcen geplant werden. Darüber hinaus sind vorausschauende Entwicklungen z.B. Trendanalysen als Grundlagen der Instandhaltungsplanung möglich.

Die LCC können optimiert und mit den Leistungsversprechen der Rad- und/oder Fahrzeuglieferanten verglichen werden. Durch gezielte Pflege der zentralen Algorithmen wird ein lernfähiges System erreicht.

Ein sehr wichtiger Aspekt der Ausbaustufe 4 ist, dass mit ihrer Einführung endlich eine Plattform zur Verfügung steht, auf der das Know-how der Spezialisten bei den Bahnen in die Algorithmen einfließen kann. Dabei wird implizites Wissen durch Digitalisierung und Kodierung in explizites Wissen umgewandelt.⁴ Das im Rahmen der Systemführerschaft geschaffene Wissen kann so nachhaltig gesichert werden.

⁴ Frey-Luxemburger, 2014

5.2.6 Ausbaustufe 5

Sobald die Messungen automatisiert sind und das Wissen digitalisiert ist, kann die Vernetzung mit Prozesspartnern umgesetzt werden. Der Datenaustausch mit den Prozesspartnern und zwischen den Bahnen ermöglicht eine Optimierung der LCC und der Lieferkette.⁵

Es ist möglich, die Qualität und Verfügbarkeit der Fahrzeuge zu verbessern und die Nachweise über deren Ausfallraten durch Produktverfolgung (Lieferantenbewertungen) nachzuweisen.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse lassen sich gezielte Optimierungen der technischen Lieferspezifikationen für die Beschaffung erzielen.

5.2.7 Vernetzung der Elemente in der Ausbaustufe 5

Die wichtigen Elemente, die in Ausbaustufe 5 involviert sind, sind in der Abbildung 4 unten dargestellt. Die Elemente sind über eine Schnittstelle miteinander vernetzt und folgen definierten Protokollen.

Die Industriepartner und Bahnen sind Teil eines Systems, welches gemeinsam genutzt wird. Der Austausch von Daten zwischen den Industriepartner und den Bahnen findet über ein Zentralrechner statt.

Die Fahrzeuge, Messsysteme, Drehbank und das ERP-System (z.B. SAP) sind in den Bahnen vernetzt und tauschen untereinander die benötigten Daten aus.

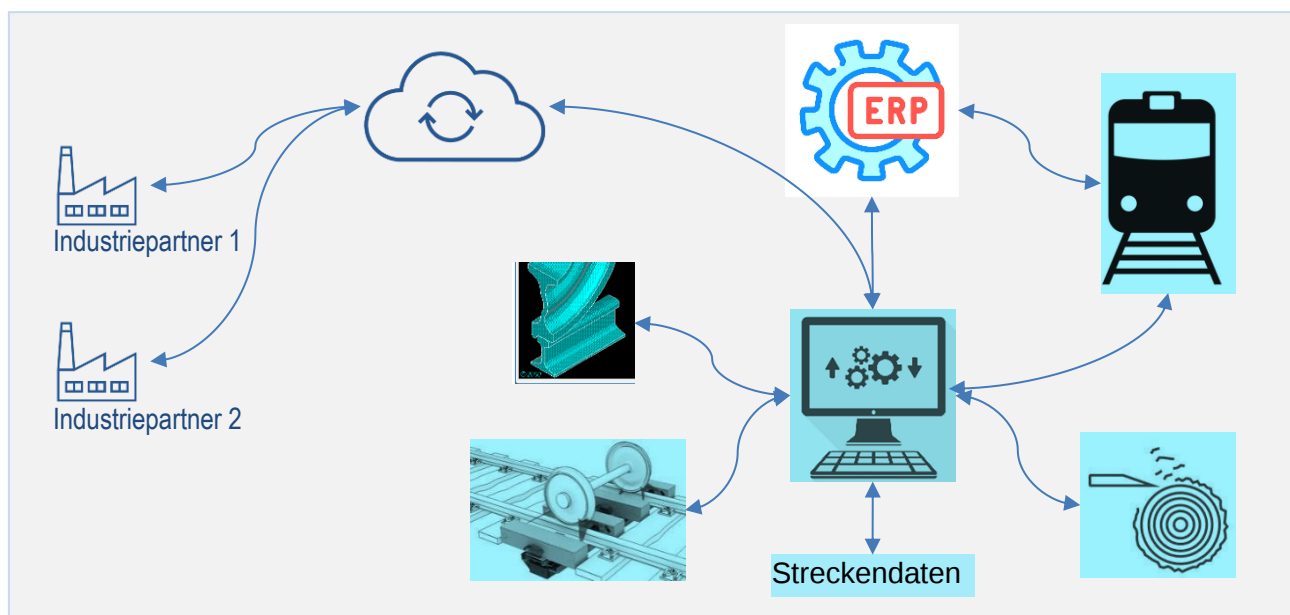


Abbildung 4: Systemaufbau bei der Ausbaustufe 5

Die Produktionsdaten der Fahrzeuge sind im ERP-System erfasst. Der Zustand der Fahrzeuge kann über die RDS-Schnittstelle abgerufen werden. Die Fahrzeuge übermitteln ihren Zustand sowie nützliche Daten von Sensoren, welche gegebenenfalls zu ergänzen sind. Diese Daten stammen beispielsweise von Beschleunigungssensoren, die Vibrationen aufzeichnen. Es sollte geprüft werden, ob die abgerufenen Daten aus der RDS-Schnittstelle Potenzial für weitere Erkenntnisse, beispielsweise Streckenanomalien, bieten.

Die stationären und manuellen Geräte übermitteln die Messergebnisse an den Zentralrechner. Die Drehbänke (UFD) sind ebenfalls mit dem Zentralrechner verbunden und empfangen als Vorgabe das gewünschte Profil. Vor und nach der Reprofilierung senden die Drehbänke die Ergebnisse wie beispielsweise den Raddurchmesser an den Zentralrechner zurück. Aus diesen Daten kann der

⁵ Bertagnolli, 2022

Reprofilierungsabtrag ermittelt werden. Bei verkoppelten Radsätzen ist die Abhängigkeit zwischen den einzelnen Radsätzen so zu berücksichtigen, dass die Durchmesserdivergenzen eingehalten werden.

Der Zentralrechner bezieht die Gleisdaten (Schienenprofil, Schienenneigung, Spurweite usw.) aus dem entsprechenden Messfahrzeug. Daraufhin werden mithilfe von Algorithmen der Applikation Rad- und Gleiskontakt die Kennwerte der Rad-/Schienenpaarung ermittelt.

Durch Vernetzung kann der Verschleiss der Radsätze entlang der logistischen Lieferkette vom Einkauf bis zur Ressourcenplanung optimal gesteuert werden.

Die Industriepartner können ihre Produkte mithilfe der erhaltenen Daten überwachen und für Qualitätszwecke verwenden.

5.2.8 Zusammenfassung der Ausbaustufen

Die Abbildung 5 zeigt die fünf Ausbaustufen übereinander in grafischer Form. Die Schnittstellen zwischen den dezentralen und zentralen Ausbaustufen werden durch die oberen zwei Pfeile dargestellt.

Die ersten Ausbaustufen sollten bei jeder Eisenbahngesellschaft dezentral umgesetzt werden. Hingegen empfiehlt es sich, die höheren Ausbaustufen zentral an einem Ort zu errichten.

Die genaue Schnittstelle ist abhängig von den jeweiligen Möglichkeiten, Bedürfnissen und Fähigkeiten der einzelnen Eisenbahnunternehmen.

Eine Kombination verschiedener Ausbaustufen ist möglich. Beispielsweise können bestimmte Teile der Ausbaustufe 5 dezentralisiert werden. Diese Teile behandeln die Verbindungen zwischen den Lieferanten und dem internen ERP-System der Bahn. Die Produktpflege und Weiterentwicklung sollten jedoch zentralisiert sein.

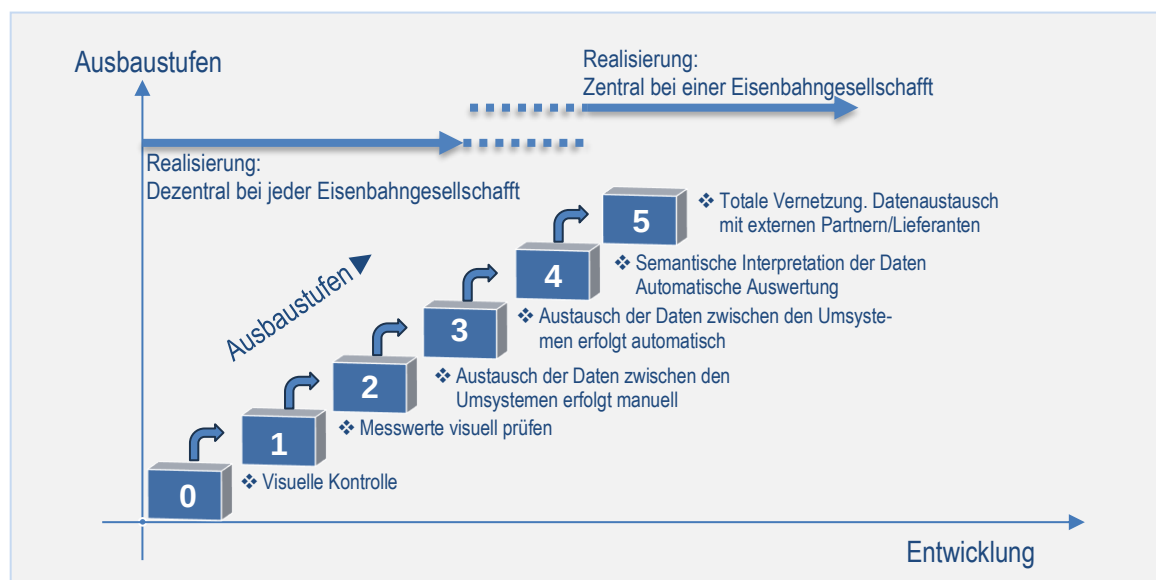


Abbildung 5: Entwicklungsphasen einer modernen Bewirtschaftung der Radsätze

Die verschiedenen Ausbaustufen dienen als Indikatoren für den Grad der Beherrschung eines Systems. Falls das Konzept weiterverfolgt wird, sollte bei allen Meterspurbahnen eine Ist-Analyse in Form einer Checkliste durchgeführt werden.

Nach Abschluss der Ist-Analyse kann gemeinsam der Weg zum Ziel definiert werden.

5.2.9 Ausblick ab Ausbaustufe 5

Die höchste Ausbaustufe 5 sollte nicht als abschliessender Zustand einer Entwicklung betrachtet werden. Sobald diese Ausbaustufe erreicht und etabliert ist, wird eine neue Ära eingeleitet, die weitere Erkenntnisse bringen wird.

Im Bereich des technischen Managements der Radsätze spielen die technischen Bereiche der Bahnen und der Lieferanten eine wichtige Rolle. Die wichtigsten Bereiche bei den Bahnen und den Industriepartnern umfassen Konstruktion, Fertigung und Instandhaltung. Bei der Entwicklung eines Designs sollte es den Spezifikationen entsprechen und einfach herzustellen und zu warten sein. Es ist wichtig, dies klar zu definieren. Es sollte so gestaltet sein, dass ein hoher Zuverlässigkeitsfaktor während des gesamten Produktlebenszyklus erreicht wird, um Kosten zu reduzieren.

Das erworbene Wissen bei den Bahnen und Lieferanten ist eine Voraussetzung für Innovation und unterstützt den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP). Investitionen in den Aufbau und die Pflege von Wissen werden sich auszahlen.

Mit der Einführung höherer Ausbaustufen erhöht sich die Menge der produzierten und gespeicherten Daten erheblich, welche der automatischen Systemanalyse dienen. Die Umstellung auf höhere Ausbaustufen erfordert bei den Bahnen Anpassungen der Prozesse, da Daten und Prozesse sich gegenseitig beeinflussen. Prozesse generieren Daten, welche wiederum Prozesse generieren.⁶

Momentan sind Softwarelieferanten in der Lage, Daten zu lesen, zu erfassen und darzustellen. Allerdings fehlt es ihnen oft am nötigen Wissen zur Auswertung der Daten, da ein Grossteil des Wissens lediglich implizit bei den Bahnen liegt. Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems ist die Zusammenarbeit mit einem Partnerunternehmen oder eine Teilbeteiligung an einer Firma, um die Entwicklung gemeinsam voranzutreiben. Im Gegenzug erhält das Unternehmen die Möglichkeit, sein Fachwissen im Bahnbereich zu erweitern.

Bei der Realisierung der Ausbaustufe 5 bestehen Optimierungsmöglichkeiten: Nicht alle Bahnen müssen eine vollständige Informatikinfrastruktur errichten. Es wird ein Lösungsweg gesucht, damit die Bahnen schrittweise die höchste Ausbaustufe erreichen, aber nur teilweise mit eigenen Mitteln, da ein Alleingang unwirtschaftlich wäre. Die Bahnen bauen die Grundstufen für die Erfassung der Daten auf. Die Auswertung und Vernetzung wird an eine Partnerschaftsbahn delegiert. Das Kompetenzzentrum der Partnerschaftsbahn stellt die Infrastruktur zur Verfügung. Dies kann in Form von Dienstleistungsverträgen geregelt werden.

Als Alternative soll auch ein dezentrales Kompetenzzentrum überprüft werden. Ein dezentrales Kompetenzzentrum könnte aus Schlüsselpersonen von ausgewählten Meterspurbahnen zusammengesetzt werden. Dabei wäre es nicht allein bei einer Bahn zugeordnet, sondern organisatorisch aus Mitarbeitern der anderen Bahnen mit verteilten Wissenskompetenzen aufgebaut.

Das Kompetenzzentrum für die Datenablage sollte zentral innerhalb einer Bahn aufgebaut werden. Die anderen Bahnen können die Daten einspeisen und die Auswertungen abrufen. Dabei ist es wichtig, die sichere Auswertung und Speicherung aller Daten von Bahnen nach ISO 27001 zu gewährleisten.

Dank modernster Informatiktechnologien ist es möglich, eine Plattform zu realisieren, die es erlaubt, aus den im Rahmen der Systemführerschaft gewonnenen Erkenntnissen den grösstmöglichen Nutzen zu ziehen.

Die Bahnen sollten unbedingt diese Gelegenheit nutzen, denn eine umfassende Digitalisierung beim Radsatzmanagement kann die Wirtschaftlichkeit erheblich steigern.

⁶ Fischermanns, 2012

5.3 Pendenzen

Eine nächste Aufgabe besteht darin, das Thema vertieft zu behandeln. Dabei soll in Zusammenarbeit mit den Bahnen ein Konzept erarbeitet werden.

Um ein integriertes Radsatzmanagement umsetzen zu können, kann ab sofort die strategische Beschaffung von Messgeräten und Werkzeugen gesteuert werden. Darüber hinaus können sofort die notwendigen Anforderungen an die Messdaten erarbeitet werden.

6 Verzeichnisse

6.1 Referenzen

- [1] Balzert, H. (2009). *Lehrbuch der Softwaretechnik: Basiskonzepte und Requirements Engineering*. Spektrum Akademischer Verlag.
- [2] Bertagnolli, F. (2022). *Lean management: Introduction and In-Depth Study of Japanese Management Philosophy*. Springer.
- [3] Fischermanns, G. (2012). *Praxishandbuch Prozessmanagement*.
- [4] Frey-Luxemburger, M. (2014). *Wissensmanagement - Grundlagen und praktische Anwendung: Eine Einführung in das IT-gestützte Management der Ressource Wissen*. Springer Vieweg.
- [5] Hildebrand, Knut/Marcus Gebauer/Holger Hinrichs/Michael Mielke: *Daten- und Informationsqualität: Auf dem Weg zur Information Excellence*, Vieweg+Teubner Verlag, 15.05.2008.

6.2 Abbildungen

Abbildung 1: Hierarchische und verschachtelte Struktur der erfassten Daten	10
Abbildung 2: Durchmesser eines Rades während des Betriebs	11
Abbildung 3: Ablaufdiagramm Instandhaltung eines Radsatzes	12
Abbildung 4: Systemaufbau bei der Ausbaustufe 5	19
Abbildung 5: Entwicklungsphasen einer modernen Bewirtschaftung der Radsätze	20

6.3 Tabellen

Tabelle 1: Übersicht der Kriterien für die Ausbaustufen	17
---	----