

RAMS-LEITFADEN

RAMS-Leitfaden: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit,
Instandhaltbarkeit, Sicherheit - Implementierung
der EN 50126 für mechanische Komponenten der Eisenbahn

Rail System Forum, Sektor Fahrzeuge SET 6, „Laufwerke“.



INTERNATIONAL UNION
OF RAILWAYS

ISBN 978-2-7461-2423-3

ISBN 978-2-7461-2422-6 (französische Fassung)

ISBN 978-2-7461-2424-0 (englische Fassung)

Hinweis

Die vollständige oder auszugsweise Wiedergabe, der Nachdruck sowie die Verteilung jeglicher, einschließlich elektronischer Art, zu anderen als rein privaten und eigenen Zwecken ohne die ausdrückliche vorherige Zustimmung des Internationalen Eisenbahnverbandes, sind untersagt. Die Übersetzung, Anpassung oder das Umschreiben bzw. die Umgestaltung oder Vervielfältigung durch technische oder sonstige Verfahren sind ebenfalls urheberrechtlich geschützt. Lediglich zugelassen sind, unter Nennung des Autoren und der Quelle, „Analysen und kurze Zitate, die durch den kritischen, polemischen, pädagogischen, wissenschaftlichen oder informativen Charakter des Werkes, aus dem sie stammen, gerechtfertigt sind“. (Art. L.122-4 und L. 122-5 des Gesetzes über geistiges Eigentum)

© Internationaler Eisenbahnverband (UIC) - Paris 2015.

ÜBERSICHTSBLATT																														
Bezeichnung UIC B 169/RP 43				Vorliegende Version Mai 2015																										
Titel des Dokuments RAMS-Leitfaden: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit - Implementierung der EN 50126 für mechanische Komponenten der Eisenbahn				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center; padding: 2px;">Sprachen</th> </tr> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center; padding: 2px;">Original</th> <th colspan="3" style="text-align: center; padding: 2px;">Übersetzung</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Fr</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">De</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">En</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Fr</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">De</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">En</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>			Sprachen						Original			Übersetzung			Fr	De	En	Fr	De	En	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sprachen																														
Original			Übersetzung																											
Fr	De	En	Fr	De	En																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																									
Verfasser UIC „Axles Wheels EN 50126“ group of experts				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Seiten</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Figuren</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Tabellen</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">37</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">1</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">13</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding: 2px;">(ohne Anlagen)</td> </tr> </table>			Seiten	Figuren	Tabellen	37	1	13	(ohne Anlagen)																	
Seiten	Figuren	Tabellen																												
37	1	13																												
(ohne Anlagen)																														
Projekt RAMS-Leitfaden																														
Auftragnehmer Internationaler Eisenbahnverband (UIC) Abteilung Rail System 16 rue Jean Rey F – 75015 PARIS				Auftraggeber Internationaler Eisenbahnverband (UIC) Abteilung Rail System 16 rue Jean Rey F – 75015 PARIS																										
Projekt-Nr. des Auftragnehmers P000319				Projekt-Nr. des Auftraggebers P000319																										
Zusammenfassung <p>Der vorliegende Bericht soll die Berechnung typischer RAMS-Werte auf Basis der EN 50126 zur Bestimmung der Zuverlässigkeit und Sicherheit der Laufwerke von Schienenfahrzeugen ermöglichen. Dabei stützten sich die Verfasser auf die Erkenntnisse der „Joint Sector Group for the ERA Task Force on wagon/axle maintenance“ (JSG), aus dem EURAXLES-Projekt sowie auf die Ergebnisse aus der UIC-Gruppe „Beanspruchung der Laufwerke“. Diese charakteristischen Werte sind notwendig, um Veränderung in den Laufwerken und ihre Auswirkungen sicher analysieren zu können.</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Im Ergebnis soll es möglich sein, charakteristische RAMS-Werte zu berechnen. Am Ende liefert das Projekt ein Verfahren zur Bestimmung charakteristischer RAMS-Werte, das anhand von Berechnungen belegt wird.</p>																														
Schlagwörter Radsätze, Radsatzwellen, Räder, Radsatzlager, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit, FMECA, RAMS, LCC																														

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Anlagen	vii
Verzeichnis der Figuren	viii
Verzeichnis der Tabellen	ix
Änderungen	x
Abkürzungen.....	xi
1. Ziele	1
2. Kontext	2
3. Liste der wesentlichen Bezugsdokumente	3
4. Risikoanalyseprozess	4
5. Charakterisierung des Systems / Funktionale Analyse	5
5.1. Externe funktionale Analyse (EFA)	5
5.1.1. Ziele.....	5
5.1.2. Methode	6
5.2. Interne funktionale Analyse (IFA)	6
5.2.1. Ziele.....	6
5.2.2. Methode	7
6. Risikoanalyse	8
6.1. Fehler-Möglichkeits-, Einfluss- und Kritizitäts-Analyse (FMECA)	8
6.1.1. Ziele.....	8
6.1.2. Methode	9
6.1.3. Arbeitsschritte der FMECA	10
6.1.4. Detaillierte Definition des Inhalts des FMECA-Blatts	11
6.1.4.1. Identifizierung der analysierten Komponente	11
6.1.4.2. Identifizierung der Fehlerarten und Ursachen	11
6.1.4.3. Identifizierung der direkten Auswirkungen eines Fehlers.....	12
6.1.4.4. Folgefehler und ihrer Auswirkungen	12
6.1.4.5. Bestimmung des Kritizitätsgrades mit Hilfe der RPZ.....	13
6.1.4.6. Bestimmung des RPZ-Grenzwerts	15
7. Bewertung der Risikoakzeptanz und Verbesserungsmaßnahmen	16
7.1. Allgemeines.....	16
7.2. Maßnahmen im Bereich der präventiven Instandhaltung	16

7.3.	Maßnahmen im Bereich der Qualität.....	17
7.4.	Maßnahmen im Bereich der baulichen Gestaltung	17
7.5.	Maßnahmen im betrieblichen Bereich	17
8.	RAM - Berechnung	18
8.1.	Allgemeine Informationen zum Berechnungswerkzeug	18
8.2.	Berechnung der RAM mit dem UIC - RAM-calculator	18
8.2.1.	Blatt „Operation_Data“	18
8.2.1.1.	Bestimmung der Betriebsstunden	19
8.2.1.1.1.	Berechnung der Betriebsstunden	19
8.2.1.1.2.	Schätzung der Betriebsstunden	20
8.2.1.2.	Bestimmung der Anzahl der Komponenten.....	21
8.2.2.	Blatt „R_Reliability“	21
8.2.3.	Blatt „A_Availability“	23
8.2.4.	Blatt „M_Maintainability“	25

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1	EFA_AFE___IFA_AFI.xls
Anlage 2	EFA_AFE___IFA_AFI___Radsatz_Essieu_Wheelset.xls
Anlage 3	FMECA_AMDEC.xls
Anlage 4	FMECA_AMDEC___Wheelset.xls
Anlage 5	RAM-Calculator_UIC.xls
Anlage 6	RAM-Calculator_UIC___Wheelset.xls

Verzeichnis der Figuren

Abb. 1: Risikoanalyseprozess	4
------------------------------------	---

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 -	Liste der maßgeblichen Bezugsdokumente für RAMS-Analysen (März 2014)	3
Tabelle 2 -	Bildschirmfoto des Excel-Blatts FMECA (die eingegebenen Daten sind Beispiele)	9
Tabelle 3 -	Stufen der Komponenten.....	11
Tabelle 4 -	Fehlerursache und -art	11
Tabelle 5 -	Direkte Fehlerauswirkungen	12
Tabelle 6 -	Beispiel einer Fehlerkaskade.....	13
Tabelle 7 -	Beispiel für die Berechnung der RPZ für vier einzelne Fehler (die Eingabewerte sind lediglich Beispiele)	14
Tabelle 8 -	für die Veränderung einer RPZ nach einer Verbesserungsmaßnahme	16
Tabelle 9 -	Screenshot des Excel-Blatts Operation_Data (die Eingabewerte sind beispielhaft genannt)	19
Tabelle 10 -	Zweiter Screenshot des Excel-Blatts Operation_Data (die Eingabewerte sind beispielhaft genannt)	21
Tabelle 11 -	Erster Screenshot des Excel-Blatts R-Reliability (die Eingabewerte sind beispielhaft genannt)	22
Tabelle 12 -	Screenshot des Excel-Blatts A_Availability (die eingegebenen Daten sind Beispiele)	24
Tabelle 13 -	Screenshot des Excel-Blatts M_Maintainability (die eingegebenen Daten sind Beispiele)	25

Änderungen

Lfd. Nr.	Eingetragen von (Name in GROSSBUCHSTABEN)	Datum der Eintragung (JJJJ-MM-TT)

Abkürzungen

CSM	Common Safety Methods (gemeinsame Sicherheitsmethoden)
DIST	Durchschnittliche Entfernung zwischen dem Abgangs- und Bestimmungsort im Streckennetz
EFA	External Functional Analysis (Externe funktionale Analyse)
FMEA	Failure Mode Effect Analysis (Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse)
FMECA	Failure Mode Effect and Criticality Analysis (Fehler-Möglichkeits-, Einfluss- und Kritizitäts-Analyse)
IFA	Internal Functional Analysis (Interne funktionale Analyse)
FTA	Fehlerbaumanalyse
LCC	Life cycle costs (Lebenszykluskosten)
LAMIS	Zeit für logistische und administrative Aufgaben der betriebsnahen Instandhaltung
LAMOV	Zeit für logistische und administrative Aufgaben der Instandhaltung im ausgebauten Zustand
MIS-DC	Zeit für die betriebsnahe Instandhaltung (MIS) einschl. Abholung und Ablieferung des Fahrzeugs (Delivery and Collecting)
MIS	Maintenance in service - MIS (Zeit für betriebsnahe Instandhaltung)
MOV	Maintenance off the vehicles - MOV (Zeit für Instandhaltung im ausgebauten Zustand)
MTBF	Mean Time Between Failure (mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen)
OHJ	Operation hours Journey-time (Betriebsstunden Fahrzeit)

OHL	Operation hours loading / unloading) (Betriebsstunden Be- und Entladung)
OHML	Operation hours needed for Maintenance (Betriebsstunden für die Instandhaltung)
OHPR	Operation hours needed for Provision and Replenish (Betriebsstunden für Versorgung und Befüllung)
PBS	Product Breakdown Structure (Produktstruktur)
RAM	Reliability (Zuverlässigkeit), Availability (Verfügbarkeit) und Maintainability (Instandhaltbarkeit)
RAMS	Reliability (Zuverlässigkeit), Availability (Verfügbarkeit) und Maintainability (Instandhaltbarkeit), Safety (Sicherheit)
RPZ	Risikoprioritätszahl
RPZ _L	Grenzwert der Risikoprioritätszahl
UIC	Internationaler Eisenbahnverband

1. Ziele

Bisher war der Anwender bei RAMS-Analysen mit einer Fülle von Methoden konfrontiert, wobei ihm keine allgemeine Empfehlungen zur Verwendung der einen oder anderen Methode für die Analyse seiner Komponente vorlagen.

Der vorliegende Leitfaden wurde im Rahmen des Projekts des SET 6 der UIC zur Implementierung der EN 50126 „Reliability and safety of axles, wheels and axle bearings“, ausgehend von den Beispielen Radsätze und Drehgestelle erstellt. Die Anwendung auf Radsätze und Drehgestelle ist im RP 29 des UIC B 169 beschrieben.

Der Leitfaden ist ein Dokument, das dem Anwender die erforderlichen Schritte darlegt und ihm Hilfestellung bei der Anwendung einer Methode oder einem dort empfohlenen Werkzeug gibt. In diesem Sinne kann der Anwender (der Experte in diesem Bereich ist) mit Hilfe des Leitfadens selbständig RAMS-Analysen für mechanische Komponenten erstellen. Der Anwender muss kein RAMS-Experte sein, weiß dann jedoch genau, was im Fall einer RAMS-Analyse zu tun ist. Für eingehendere Informationen kann er sich an den RAMS-Fachmann wenden.

Zur Erstellung der RAMS-Analysen wurden im Rahmen des Projekts Werkzeuge entwickelt. Diese Werkzeuge sind in folgenden Excel-Dateien abgelegt:

- EFA_AFE___IFA_AFI
- FMECA_AMDEC

Das vorliegende Dokument ist der Leitfaden für die ordnungsgemäße Nutzung und Auslegung der Ergebnisse dieser Werkzeuge.

Die Methode kann auch für andere mechanische Komponenten von Schienenfahrzeugen angewendet werden.

Zusätzlich zu den RAMS-Analysen wurde im Hinblick auf die Betrachtung der wirtschaftlichen Anforderungen eine Methode zur LCC-Berechnung erarbeitet. Diese LCC-Methode sowie die entsprechenden Werkzeuge sind in Form von Dateien im gesonderten Dokument „LCC - Leitfaden_UIC“ enthalten:

- LCC-Calculator_UIC
- LCC-Presentation-charts_UIC.

Der Leitfaden besteht aus zwei Hauptteilen:

- Risikoanalyse - für das „S“ aus RAMS (Kapitel 5 bis 8),
- RAM - Analyse (siehe Kapitel 9).

2. Kontext

Die Dimensionierungsvorgaben sowie die Produkt- und Instandhaltungsanforderungen von Laufwerkskomponenten sind in den maßgeblichen Standards oder technischen Spezifikationen (z.B. EN, UIC-Merkblätter, technische Spezifikationen der Betreiber) definiert.

Ergänzend zu diesen Dokumenten gibt es Normen zur RAMS-Analyse mit einer Reihe von Möglichkeiten, die jedoch nur bedingt bei der Auswahl der angemessenen Methode helfen. Zudem sind diese Methoden oft für die weniger mit dem Thema vertrauten Experten nicht hinreichend beschrieben. Daher können die Ergebnisse aus deren Anwendung unvollständig oder nicht belegbar sein.

Bisher wurden Radsatzkomponenten nicht systematisch Sicherheitsanalysen gemäß EN 50126 unterzogen, und die dementsprechenden charakteristischen Werte wurden nicht zahlenmäßig erfasst bzw. veröffentlicht.

Derartige Analysen sind jedoch sinnvoll, um die Auswirkungen von Veränderungen (z.B. beim Einsatz neuer Werkstoffe) auf Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) identifizieren und bewerten zu können

Der vorliegende Bericht beschreibt die Schritte und Methoden / Werkzeuge zur Durchführung von RAMS-Studien im Einklang mit der EN 50126, um die Zuverlässigkeit / Sicherheit der Laufwerke von Schienenfahrzeugen zu überwachen.

Der Anwender soll die Faktoren, die sich auf die RAMS und die Betriebs- bzw. Instandhaltungsbedingungen dieser Elemente auswirken können, berücksichtigen.

3. Liste der wesentlichen Bezugsdokumente

Nachstehend die Bezugsdokumente für die Durchführung von RAMS-Studien:

Bezugsdokument	Titel
EN 50126	Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS)
EN 31010	Risikomanagement - Verfahren zur Risikobeurteilung
EN 60812	Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlzustandsart- und -Auswirkungsanalyse (FMEA), 11-2006
CSM	Gemeinsame Sicherheitsmethoden, EU-Verordnung 352/2009, Version 24.04.2009 (aufgehoben zum 21. Mai 2015)
CSM	Gemeinsame Sicherheitsmethoden, EU-Verordnung 402/2013, Version 30.04.2009

Tabelle 1 - Liste der maßgeblichen Bezugsdokumente für RAMS-Analysen (März 2014)

4. Risikoanalyseprozess

Der Risikoanalyseprozess beschreibt die Schritte zur Durchführung des Teils Sicherheit („S“) der RAMS-Analyse. Das nachstehende Diagramm (Abb. 1) veranschaulicht das Verfahren für Radsätze und ihre Komponenten. Die einzelnen Schritte werden in den folgenden Kapiteln ausgeführt.

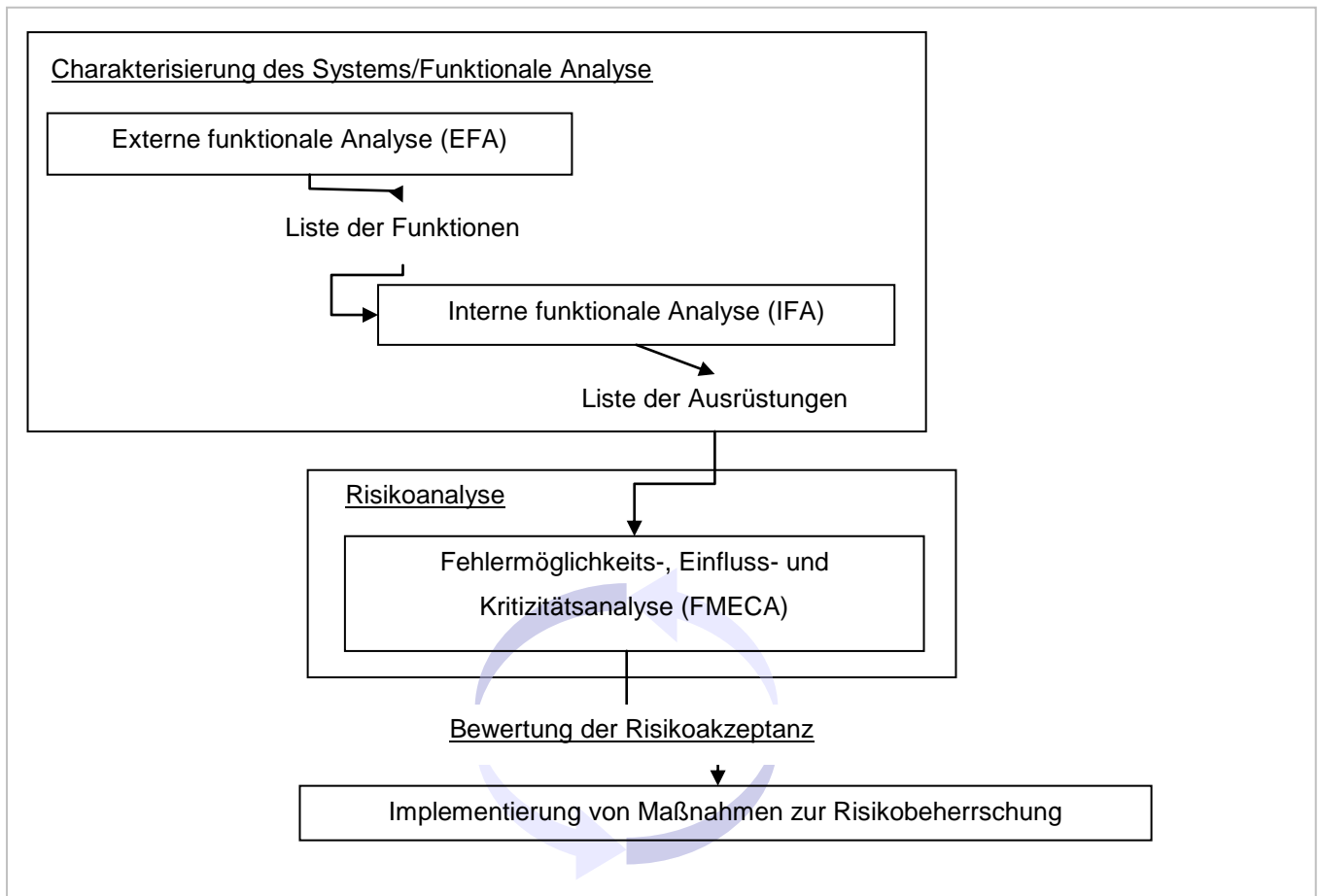


Abb. 1: Risikoanalyseprozess

Die Risikoanalyse kann in jeder der gemäß EN 50126 vorhandenen 14 Lebenszyklusphasen des Objekts erfolgen, z.B. in der Planung, in der Entwicklung, in der Produktion als auch im Betrieb.

Der Fokus des Projekts liegt auf der Phase Betrieb und Instandhaltung.

5. Charakterisierung des Systems / Funktionale Analyse

Im Rahmen der funktionalen Analyse wird das System durch seine Funktionen, sein Umfeld, die betrieblichen Bedingungen sowie die Komponenten, aus denen es sich zusammensetzt, charakterisiert.

Die funktionale Analyse erfolgt in zwei getrennten Schritten: zunächst erfolgt die externe funktionale Analyse (EFA), dann die interne (IFA).

5.1. Externe funktionale Analyse (EFA)

Bei der externen funktionalen Analyse werden die Systemgrenzen und die externen Einflüsse auf das Objekt identifiziert.

Die EFA muss zu Beginn des Projekts durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass eine umfassende Liste der zur Erfüllung der Anforderungen erforderlichen Funktionen vorliegt.

5.1.1. Ziele

Beschreibung der Systemgrenzen und der Schnittstellen, hierbei wird ausschließlich das betrachtete System beleuchtet - wie durch einen Scheinwerfer im Theater.

Schwerpunkte der EFA sind der beabsichtigte Einsatz, die vorgesehenen Funktionen, die Umfeldbedingungen und auch vorhandene Sicherheitsmaßnahmen.

Danach ist klar, welche Lebenszyklusphasen das System durchläuft, welchem Zweck es dient und unter welchen Bedingungen es betrieben wird.

Zweck der EFA:

- Identifizierung aller Funktionen des betrachteten Systems, z.B. des Radsatzes
- Identifizierung der vom System zu berücksichtigenden Einschränkungen
- Charakterisierung des Systemumfelds
- Charakterisierung der Schnittstellen zum Systemumfeld.

Mögliche oder geplante technische Lösungen sind nicht Gegenstand der Analyse. Daher sollte sich nicht auf spezifische Komponenten fokussiert werden, sondern das System (z.B. der Radsatz) sollte als „Black Box“ betrachtet werden, die das analysierte System darstellt.

5.1.2. Methode

Um dem Anwender die Arbeit zu erleichtern, wurde ein Standardformat in MS-Excel entworfen. Der Anwender gibt seine Eingangsdaten in die hellblauen Felder ein.

Elemente der externen funktionellen Analyse EFA sind:

- Systemname
- Betrachtete Lebenszyklusphasen gem. EN 50126 [Version 2000/03]
- Definierte Nutzung des Systems
- Systemfunktionen (primäre und sekundäre)
- Systemtechnische Einschränkungen (physisch und funktional)
- Schnittstellen (physisch und funktional)
- Systemumfeld
- Bestehende Sicherheitsverfahren
- Annahmen, die die Grenzen der Risikobewertung bestimmen.

Die Elemente des externen Umfelds stellen das Umfeld dar, in dem sich das System bewegt.

Externe Elemente können andere Teile des Fahrzeugs (einschl. Radsatzlasten) oder fahrzeugfremde Teile (z.B. Schienen) sein.

Die wesentlichen Funktionen identifizieren die Beziehungen, die das System zwischen zwei oder mehreren externen Elementen herstellt. Sie bezeichnen die Funktionen, die das System im Rahmen dieser Beziehungen erfüllt.

Die Einschränkungen bezeichnen die vom System für einzelne Elemente des externen Umfelds vorgegebenen Sachzwänge.

Im Rahmen des UIC-Projekts „Zuverlässigkeit / Sicherheit von Radsatzwellen, Rädern und Radsatzlagern - Implementierung der EN 50126" wurde ein Beispiel für eine externe funktionale Analyse (EFA) erstellt (siehe MS Excel-Datei EFA_AFE___IFA_AFI.xls).

5.2. Interne funktionale Analyse (IFA)

Die interne funktionale Analyse zeigt die Produktstruktur des Systems (PBS), siehe MS Excel-Datei EFA_AFE___IFA_AFI.xls.

5.2.1. Ziele

Bei der internen funktionalen Analyse (IFA) wird das System auf Komponentenebene heruntergebrochen. Ergebnis ist eine strukturierte Liste, die einen Überblick über das gesamte System gibt.

Das System als Ganzes oder die einzelnen Komponenten stellen die Ausführung der im Rahmen der EFA analysierten Funktionen sicher (siehe Punkt 5.1). Die Liste der Komponenten (strukturierter

te Liste der Ausrüstungen, PBS) gibt die Struktur der Eingangsdaten für die FMECA (siehe Punkt 6.1) vor.

5.2.2. Methode

Das System wird systematisch von oben nach unten (Top down) in Teilsysteme/Komponenten unterteilt und es bildet sich eine Baumstruktur. Die Anzahl der Systemebenen bestimmt der Anwender je nach Komplexität des Objekts.

In der Regel ist Ebene 1 die höchste Ebene der Systemdefinition. Meistens reichen 2 oder 3 Ebenen zur Identifizierung seiner Komponenten aus.

Der Anwender kann die MS Excel-Datei „EFA_AFE_IFA_AFI.xls“ aus dem vorliegenden Leitfaden benutzen. Das „IFA“-Blatt gibt ein geeignetes Format vor. Der Anwender hält sich an die Produktstruktur (PBS) aus dem Blatt „EFA__AFE_IFA_AFI.xls“. Die in der Datei EFA_AFE_IFA_AFI.xls, definierte PBS wurde als Basis für die Entwicklung der Fehler in der FMECA Excel-Tabelle genutzt, was im Beispiel für die Radsätze aus dem UIC-Projekt gut ersichtlich ist.

Die IFA_AFI aus im Anhang liegenden Excel-Datei ist ein Input für die FMEA und die LCC.

Im Rahmen des UIC-Projekts „Zuverlässigkeit/Sicherheit von Radsatzwellen, Rädern und Radsatzlagern - Implementierung der EN 50126“ wurde ein Beispiel für eine interne funktionale Analyse (IFA) erstellt (siehe MS Excel-Datei EFA_AFE__IFA_AFI__Radsatz_Essieu_Wheelset.xls).

Wichtiger Hinweis für den Sonderfall der Radsatzwelle:

- Es ist zu beachten, dass die Radsatzwelle eine einzige Komponente ist, die jedoch verschiedene Bereiche besitzt, in denen sich potentiell unterschiedliche Fehler bilden können. Daher wurde beschlossen, die Radsatzwelle in 8 Bereiche zu unterteilen, die jeweils als eine Komponente behandelt werden.

Dieses Verfahren kann ggf. auch für andere Komponenten angewandt werden. An diesem Beispiel wird die Flexibilität der Methode deutlich.

6. Risikoanalyse

In diesem Schritt werden die Risiken identifiziert, ihre Akzeptanz bewertet und ggf. Maßnahmen bestimmt, die zu treffen sind, um das Risiko auf ein akzeptables Niveau zu bringen.

Für vorrangig mechanische Systeme, wie Laufwerke oder Radsätze, wird die Anwendung der Fehlermöglichkeits-, Einfluss- und Kritizitätsanalyse (FMECA) empfohlen und beschrieben.

Über die Systemcharakterisierung (funktionale Analyse, EFA und IFA) und die Fehlermöglichkeitsanalyse (FMECA) können die Fehler charakterisiert und nach ihrer Kritizität, ausgedrückt als Risikoprioritätszahl (RPZ), eingestuft werden.

Die Verfasser entschieden sich für eine Risikoanalyse des Typs FMECA, da diese als für rein mechanische Systeme am besten geeignet erscheint.

Anhand der Ergebnisse dieser Analyse kann der Anwender nachweisen, dass das Risiko im Verhältnis zu einem möglichen Fehler im analysierten System beherrscht wird bzw. welche Funktion / Komponente verbesserungsbedürftig ist.

6.1. Fehler-Möglichkeits-, Einfluss- und Kritizitäts-Analyse (FMECA)

Die FMECA ist eine Methode zur Analyse und Bewertung von Risiken. Für allgemeine Zwecke ist dem vorliegenden Leitfaden die MS Excel-Datei „FMECA_AMDEC.xls“ zur Bestimmung der Analyseparameter beigelegt. Nachstehend wird anhand des Beispiels „Radsatz“ die ordnungsgemäße Nutzung des Werkzeugs erläutert.

Dabei ist zu beachten, dass der Nutzer bei der Arbeit mit den Excel – Tabellen gefragt wird Makros zu akzeptieren, – der Nutzer kann diese ohne weiteres akzeptieren.

Speziell für Radsätze kann die nachstehende Datei FMECA_AMDEC einschl. der Fehlerdefinitionsliste verwendet werden.

6.1.1. Ziele

Ziel der FMECA ist es:

- Umfassend alle Fehler im System (die in der IFA identifiziert wurden, siehe Punkt 6.2) und ihre Ursachen zu erkennen,
- die Konsequenzen dieser Fehler auf den einzelnen Funktionsebenen des Zuges zu identifizieren und diese nachvollziehbar und umfassend darzustellen,
- die Bedeutung, d.h. die „Kritizität“ jedes Fehlers im Verhältnis zu seiner Rückwirkung auf den normalen Zugbetrieb bzw. die Leistung und die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit bzw. Sicherheit des Zuges zu bewerten,

- die RPZ jedes definierten Fehlers zu ermitteln und mit der vom Anwender gesetzten RPZ-Grenze zu vergleichen. Fehler, deren RPZ den Grenzwert überschreitet, haben im Vergleich zu anderen Fehlern höchste Priorität, denn hier sind ggf. Risikobeherrschungsmaßnahmen zu treffen, um die Kritizität der Fehlerursache auf ein akzeptables Niveau zu senken.

Es steht dem Anwender frei, andere FMECA-Werkzeuge zu verwenden, jedoch wurde das beiliegende Werkzeug speziell für Radsätze und Radsatzkomponenten vorbereitet. Dieses Werkzeug wird in den nachstehenden Punkten beschrieben.

6.1.2. Methode

Die Excel-Datei „FMECA_AMDEC__Wheelset.xls“ umfasst folgende sechs Blätter:

- Blatt „Beispiel“ Darstellung einer Fehlerkaskade, deren Auswirkungen eine Ursache für Folgefehler in der Tabelle werden, die dann eine eigene Zeile in der FMECA-Tabelle erhalten.
- Blatt „FMECA“ Hier nimmt der Anwender die Beurteilung vor.
- Die Blätter „Schweregrad“, „Entdeckungswahrscheinlichkeit“ und „Eintrittswahrscheinlichkeit“ enthält Werte für die Beurteilung der definierten Fehler. Der Inhalt dieser drei Blätter sollte unverändert bleiben, damit die Vergleichsmöglichkeit gegeben ist.
- Das Blatt „Legende“ enthält Erklärungen zu den Farben der Felder und auch Werte für einzelne Felder.

Zu Beginn seiner Bewertung öffnet der Anwender das Blatt „FMECA“:

Existing System:														
Risk Priority Number (RPN) limit for intensive proofings:										250				
Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	Failure root cause A	Failure B	Direct consequence of the failure C	comments	Severity 1: B 2: C	Detectability 1: B 2: C & A	Frequency 1: B 2: A	Risk priority num			
Wheelset	Asle	Transition radius	Transition radius	unsufficient geometrical quality (quality of production)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Transition radius	Transition radius	unsufficient quality of material (Quality of production)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Transition radius	Transition radius	Overloading of the wagon	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	crack	asle broken in the corresponding section	derailment								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	not reported derailment in the past	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	corrosion	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	mechanical damage (mounting / dismantling)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	overloading of the wagon	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	Surface roughness	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	unsufficient geometrical quality (quality of production)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	unsufficient quality of material (quality of production)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding								0
Wheelset	Asle	Wheel seat (asle)	Wheel seat (asle)	overloading by dynamic effects	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding		little	3	low	6	low: relative few failures	3	54
Wheelset	Asle box	Asle box	Bearing	Mounting procedure	bearing mechanical damages	hot axle box								0
Wheelset	Asle box	Bearing	Bearing	bearing mechanical damages	hot axle box	broken journal								0
Wheelset	Asle box	Bearing	Bearing	Fatigue	bearing mechanical damages	hot axle box								0
Wheelset	Asle box	Bearing	Bearing	Incorrect handling	bearing mechanical damages	hot axle box								0
Wheelset	Asle box	Bearing	Bearing	mechanical shock	bearing mechanical damages	hot axle box								0

Tabelle 2 - Bildschirmfoto des Excel-Blatts FMECA (die eingegebenen Daten sind Beispiele)

Das Format der Felder ist überall das gleiche:

- Graue Felder: Kopfzeile oder Beschreibung
- Weiße Felder: Ergebnisse. Alle diese Felder enthalten Formeln, die der Anwender nicht verändern sollte.
- Hellblaue Felder: Eingabefelder

In diesem Beispiel für Radsätze enthalten die Spalten weiße Felder, weil die ersten acht Spalten bereits ausgefüllt sind. Die Spalte „Component level IV“ hat andere Farben, sodass die verschiedenen Bereiche/Teil des Radsatzes klar unterschieden sind.

6.1.3. Arbeitsschritte der FMECA

- In Feld „B1“ gibt der Anwender das System ein, das Gegenstand der FMECA ist,
- In den Spalten „A“ bis „D“ unterteilt der Anwender das System in Komponenten.
- In den Spalten „E“ bis „G“ definiert der Anwender Fehler mit Ursachen und Auswirkungen auf jede Komponente.
- In Spalte „H“ können Bemerkungen eingetragen werden.
- In Feld „O2“ gibt er seinen persönlichen RPZ-Grenzwert ein.
- In Spalte „J“ wird der Schweregrad jedes Fehlertyps bewertet. Hierfür wird in jedes Prüffeld der Spalte „J“ eine Zahl zwischen 1 und 10 eingetragen.
- In Spalte „L“ wird die Entdeckungswahrscheinlichkeit jedes Fehlertyps bewertet. Hierfür wird in jedes Prüffeld der Spalte „L“ eine Zahl zwischen 1 und 10 eingetragen.
- In Spalte „N“ wird die Eintrittswahrscheinlichkeit jedes Fehlertyps bewertet. Hierfür wird in jedes Prüffeld der Spalte „N“ eine Zahl zwischen 1 und 10 eingetragen.

Hinweis: Beschreibung der RPZ und ihrer Werte siehe Punkt 6.1.4.5.

Die RPZ ist das Produkt der drei Spalten J, L und N, und sie steht in Spalte „O“.

Wenn Fehler die selbst gesetzte RPZ-Grenze (in Feld O2) überschreiten, wechselt die Feldfarbe und wird rot. Das bedeutet, dass der Anwender diesen Fehler beobachten muss. Für jeden als nicht akzeptable angesehenen Fehler ($RPZ > RPZ\text{-Grenzwert}$) sollten Risikobeherrschungsmaßnahmen getroffen werden, um den Fehler auf ein akzeptables Niveau ($RPZ < RPZ\text{-Grenzwert}$) zu senken. Der RPZ-Grenzwert hat die Aufgabe, die Fehler mit der höchsten RPZ anzuzeigen. Maßnahmen im Bezug auf die Fehler mit der höchsten RPZ haben den größten Effekt im Hinblick auf die Systemoptimierung.

Vergleich der RPZ eines bestehenden Systems mit einem neuen System

- Zur Verbesserung des Systems definiert der Anwender Maßnahmen zur Reduzierung des Fehlerrisikos in den Spalten Q (Maßnahme) und R (Typ) (Risikobeherrschung).
- Für diese neu definierten Maßnahmen bewertet der Anwender den Schweregrad, die Entdeckungswahrscheinlichkeit und die Eintrittswahrscheinlichkeit in den Spalten U, W und Y mit der neuen RPZ in Spalte Z.
- Wenn die neue RPZ in Spalte AA niedriger als die bestehende RPZ ist, zeigt dies, dass die neuen Maßnahmen zu einer Systemverbesserung geführt haben.

6.1.4. Detaillierte Definition des Inhalts des FMECA-Blatts

6.1.4.1. Identifizierung der analysierten Komponente

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)

Tabelle 3 - Stufen der Komponenten

Die Spalte „Component level I“ (Komponente Ebene I) gibt unzweideutig die Komponente an, die analysiert wird.

Ebene I ist die höchste Ebene der Systemdefinition, Ebene VI die niedrigste. Für viele Analysen reichen zur Strukturierung zwei bis drei Ebenen zur Identifizierung einer Komponente bereits aus.

Im o.g. Beispiel sind 3 Ebenen ausreichend. Ebene 4 kann erforderlich sein für komplexere Systeme.

6.1.4.2. Identifizierung der Fehlerarten und Ursachen

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	1 Failure root cause A	2 Failure B
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)	corrosion	crack
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)	mechanical damage	crack

Tabelle 4 - Fehlerursache und -art

Ein Fehler kann durch mehrere Phänomene verursacht werden. In diesem Fall muss jede Ursache in einer eigenen Zeile aufgeführt und ihre Kritizität bestimmt werden.

Im obigen Beispiel können die Risse 2 Ursachen haben (Korrosion und mechanischer Aufprall). Für die Risikobewertung müssen daher zwei Zeilen angelegt werden.

6.1.4.3. Identifizierung der direkten Auswirkungen eines Fehlers

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	1 Failure root cause A	2 Failure B	3 Direct consequence of the failure C	comments
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)	corrosion	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding section	
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)	mechanical damage	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding section	

Tabelle 5 - Direkte Fehlerauswirkungen

Die Spalte „Direct consequence of the failure“ (direkte Auswirkungen des Fehlers) gibt die Auswirkungen des analysierten Fehlers an. Die Spalte „Comments“ (Bemerkungen) ermöglicht die Eingabe zusätzlicher Angaben bzgl. der direkten Fehlerauswirkungen.

Möglicherweise hat ein Fehler keine direkten und/oder sichtbaren Auswirkungen. In der Spalte „Direct consequences of the failure“ können daher Faktoren wie z.B. „Zeit“ oder „Beschädigung der Komponente“ berücksichtigt werden, um eventuelle Auswirkungen zu identifizieren.

Im obigen Beispiel wird ausgesagt, dass der Riss längerfristig zum Radsatzwellenbruch führt.

6.1.4.4. Folgefehler und ihrer Auswirkungen

Definition von Fehlermodus („Failure mode“) gem. EN 50126, Punkt 3.13: *"The predicted or observed results of a failure cause on a stated item in relation to the operating conditions at the time of the failure"*.

Dies bedeutet, dass die Komponente nicht mehr funktionsfähig bzw. ihre Funktion nicht mehr unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen erfüllen kann. Die Verschlechterung der QUALITÄT (Funktionserfüllung) einer Komponente gilt laut der obigen Definition also nicht als FEHLER.

Der Ansatz in der vorliegenden Analyse für mechanische Komponenten ist jedoch ein anderer. Um die RPZ für die verminderten Betriebszustände der Komponenten bestimmen zu können, wird eine Einflussanalyse für jeden verschlechterten Zustand erstellt. Hierfür wird derselbe Ansatz bzw. dasselbe Verfahren wie für TATSÄCHLICHE Fehler (im Sinne der EN 50126) zu Grunde gelegt.

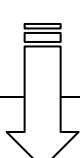
Das Projekt analysierte und bestimmte eine Reihe von Fehlern, die auf Grund einer Zustandsverschlechterung über die Zeit schwerere Fehler verursachten. Einige als Fehler eingestufte Ereignisse aus der Analyse wurden somit zu Ursachen anderer Fehler (siehe nachstehende Fehlerkaskade).

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	Failure root cause	Failure	Direct consequence of the failure	Comments
Wheelset	Axle	Rim	-	Too high breaking force	Flat	Damaged bearing	

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	Failure root cause	Failure	Direct consequence of the failure	Comments
Wheelset	Axle	Bearing	-	Flat	Damaged bearing	Hot axle Box	

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	Failure root cause	Failure	Direct consequence of the failure	Comments
Wheelset	Axle	Axle Box	-	Damaged bearing	Hot axle Box	Initial crack in abutment	

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	Failure root cause	Failure	Direct consequence of the failure	Comments
Wheelset	Axle	Abutment	-	Hot axle Box	Initial crack in abutment	Crack in abutment	



Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	Failure root cause	Failure	Direct consequence of the failure	Comments
Wheelset	Axle	Rim	-	Too high breaking force	Flat	Damaged bearing	
Wheelset	Axle	Bearing	-	Flat	Damaged bearing	Hot axle Box	
Wheelset	Axle	Axle Box	-	Damaged bearing	Hot axle Box	Initial crack in abutment	
Wheelset	Axle	Abutment	-	Hot axle Box	Initial crack in abutment	Crack in abutment	

Tabelle 6 - Beispiel einer Fehlerkaskade

6.1.4.5. Bestimmung des Kritizitätsgrades mit Hilfe der RPZ

Für jede Zeile der Analyse wird eine RPZ ermittelt. Diese bestimmt den Kritizitätsgrad des betrachteten Fehlers (Bedeutung der Auswirkungen des betrachteten Fehlers).

Die RPZ wird durch Multiplikation folgender drei Faktoren errechnet:

- Schweregrad **S**
 - Entdeckungswahrscheinlichkeit **D**
 - Auftretenswahrscheinlichkeit **F**
- RPZ = S x D x F**

Die Definitionen der einzelnen Stufen dieser 3 Parameter können den drei Blättern Schweregrad, Entdeckungswahrscheinlichkeit und Eintrittswahrscheinlichkeit in Anlage 3 entnommen werden.

Component level IV	1 Failure root cause A	2 Failure B	3 Direct consequence of the failure C	Severity B		Detectability B		Frequency B	
Abutment (axle)	mechanical damage	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding section	little	3	moderate	5	low: relative few failures	3
Bearing	Fatigue	bearing mechanical damages	hot axle box	little	3	low	6	very low: relative very few failures	2
Axlebox body (including rear and front cover)	not reported derailment in the past	mechanical damages	broken housing	little	3	low	6	little - failure is implausible	1
Rim	exceeding brake energy input (e.g. misuse of park brake / brake incidente)	exceeding internal stress	crack	very low	4	little	8	low: relative few failures	3

Tabelle 7 - Beispiel für die Berechnung der RPZ für vier einzelne Fehler (die Eingabewerte sind lediglich Beispiele)

Die Bewertung der Fehler ausgehend von diesen 3 Parametern erfolgt nach folgendem Verfahren:

a) Bewertung des Schweregrads:

Der Schweregrad sollte in den nachstehend beschriebenen Schritten, in der angegebenen Reihenfolge ermittelt werden:

- Der Schweregrad wird zunächst unter Berücksichtigung des Inhalts der Spalte „Failure“ (Fehler) definiert.
- Als zweites Kriterium zur Bestimmung des Schweregrades eines Fehlers dient die Spalte „Direct consequence of the failure“ (direkte Auswirkungen des Fehlers), mit der unterschiedliche Schweregrade verschiedener Auswirkungen unterschieden werden können.
- Die Fehlerursache (Spalte „Failure root cause“) enthält ergänzende Informationen und sollte zusätzlich zur Beurteilung des Schweregrades herangezogen werden.

b) Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit:

Die Entdeckungswahrscheinlichkeit sollte in den nachstehend beschriebenen Schritten, in der angegebenen Reihenfolge ermittelt werden:

- Die Entdeckungswahrscheinlichkeit wird zunächst unter Berücksichtigung der Spalte „Failure“ (Fehler) definiert.
- Als zweites Kriterium sind die Fehlerursache (Spalte „Failure root cause“) und die Entdeckung der direkten Auswirkungen des Fehler (Spalte „Direct consequence of the failure“) in Betracht zu ziehen.

c) Bewertung der Häufigkeit:

- Die Häufigkeit wird zunächst unter Berücksichtigung der Spalte "Failure" (Fehler) definiert.

- Zweitens muss die Fehlerursache (Spalte "Failure root cause") berücksichtigt werden.

Dieses Vorgehen wird im Werkzeug in der Kopfzeile (Zeile 3) der MS Excel-Datei „FMECA_AMDEC.xls“ durch die Markierung der Buchstaben A, B und C vorgeschlagen.

Die Bewertung der einzelnen o.g. Parameter kann auf der Basis qualitativer (z.B. Bewertung durch Sachverständige) oder quantitativer Werte erfolgen, falls vorhanden. Dies ändert jedoch nichts an der Aussagekraft der daraus resultierenden RPZ.

Die Fehler für Radsätze wurden bereits im Rahmen des UIC-Projekts „Zuverlässigkeit/Sicherheit von Radsatzwellen, Rädern und Radsatzlagern - Implementierung der EN 50126“ in der Datei „FMECA_AMDEC__Wheelset.xls“ vordefiniert.

Für andere Komponenten muss der Anwender die Fehlermöglichkeiten vor Beginn der Bewertung definieren.

6.1.4.6. Bestimmung des RPZ-Grenzwerts

Die Wahl des Grenzwerts RPZ_L ist für das Ergebnis irrelevant. Der Anwender kann ihn selbst bestimmen. Hierbei geht es ausschließlich darum, die Fehler mit den höchsten RPZ visuell als Basis für potentielle und gezielte Verbesserungsmaßnahmen hervorzuheben. Folglich erhält der Anwender damit nicht nur einen absoluten Wert, sondern auch einen relativen Wert im Vergleich zu anderen betrachteten Fehlern.

Der Zweck besteht ausschließlich darin, sich auf die Fehler mit den höchsten Werten zu konzentrieren. Er ist somit als kein eigentlicher Grenzwert aufzufassen.

Das Verfahren zur Bestimmung einer angemessenen RPZ_L für das Projekt „Zuverlässigkeit/Sicherheit von Radsatzwellen, Rädern und Radsatzlagern - Umsetzung der EN 50126“ ist im Projektbericht UIC B 169/RP 29 beschrieben. Dort wurde der Wert **RPZ_L** mit 250 festgelegt.

7. Bewertung der Risikoakzeptanz und Verbesserungsmaßnahmen

7.1. Allgemeines

Fehler, deren RPZ höher als die selbst definierte RPN_L sind, gelten ungeachtet ihrer Auswirkungen als „inakzeptabel“. Zur Senkung der RPZ müssen Maßnahmen zur Senkung der RPZ getroffen werden. Diese sind dann analog durch die Ermittlung einer RPZ für das verbesserte System zu bewerten.

Im nachstehenden fiktiven Beispiel verbessert sich durch Werkstoff- oder Herstellerwechsel der Komponente der Parameter „Eintrittswahrscheinlichkeit“. Damit wird die Kritizität eines Fehlers der Komponente akzeptabel, denn die RPZ fällt von 36 auf 18.

Component level IV	1 Failure root cause A	2 Failure B	3 Direct consequence of the failure C	Severity B	Detectability B	Frequency B	Risk priority number	Action	Type	Severity B	Detectability B	Frequency B	Risk priority number						
Abutment (axle)	mechanical damage	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding section	little	3	moderate	5	low: relative few failures	3	45				0					
Bearing	Fatigue	bearing mechanical damages	hot axle box	little	3	low	6	very low: relative very few failures	2	36	new bearing	quality	little	3	low	6	little - failure is implausible	1	18
Axlebox body (including rear and front cover)	not reported derailment in the past	mechanical damages	broken housing	little	3	low	6	little - failure is implausible	1	18									0
Rim	exceeding brake energy input (e.g. misuse of park brake / brake incidents)	exceeding internal stress	crack	very low	4	little	8	low: relative few failures	3	96									0

Tabelle 8 - für die Veränderung einer RPZ nach einer Verbesserungsmaßnahme

Es können mehrere Arten von Maßnahmen zur Verbesserung der Parameter Schweregrad, Entdeckungs- und Eintrittswahrscheinlichkeit getroffen werden. Die wesentlichen Maßnahmen sind:

- Präventive Instandhaltung
- Qualität
- Bauliche Gestaltung
- Betrieb.

7.2. Maßnahmen im Bereich der präventiven Instandhaltung

Präventive Instandhaltungsmaßnahmen können zur Reduzierung der Werte der Parameter Entdeckungs- bzw. Eintrittswahrscheinlichkeit führen.

Beispiele:

- Sichtprüfungen oder die Messung eines Schadens können zur Verbesserung der Entdeckungswahrscheinlichkeit führen.
- Der Austausch eines Verschleißteils nach einer bestimmten Laufleistung kann eine Verbesserung bringen und damit den Parameter Eintrittswahrscheinlichkeit verbessern.

7.3. Maßnahmen im Bereich der Qualität

Zur Optimierung der Eintrittswahrscheinlichkeit (selteneres Auftreten des Fehlers) können Qualitätsmaßnahmen vorgenommen werden.

Beispiele:

- Qualitätskontrollen vor dem Einbau im Zug verbessern die Eintrittswahrscheinlichkeit.
- Ein Herstellerwechsel kann die Qualität einer Komponente steigern und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit verbessern.

7.4. Maßnahmen im Bereich der baulichen Gestaltung

Die Veränderung baulicher Merkmale einer Komponente kann zur verbesserten Bewertung der Parameter Schweregrad, Entdeckungswahrscheinlichkeit und Eintrittswahrscheinlichkeit führen.

Beispiele:

- Der Wechsel zu einem zuverlässigeren Werkstoff kann die Eintrittswahrscheinlichkeit verringern.
- Mechanische Barrieren zur Verhinderung der Ausbreitung eines Fehlers können den Schweregrad mindern.
- Die Einführung eines Fehlermeldesystems kann die Entdeckungswahrscheinlichkeit erhöhen.

7.5. Maßnahmen im betrieblichen Bereich

Es können betriebliche Regeln vorgesehen werden, um die Parameter Schweregrad oder Entdeckungswahrscheinlichkeit zu verbessern.

Beispiele:

- Eine Prüfung vor der Abfahrt kann die Entdeckungswahrscheinlichkeit erhöhen.
- Fährt der Zug im Fall der Feststellung eines Fehlers nicht ab, wird u.U. der Schweregrad des Fehlers verringert.

Die entsprechenden Maßnahmen werden in den Spalten Q und R beschrieben.

Für mögliche Verbesserungen ist die FMECA dann nochmals für diese getroffenen Maßnahmen durchzuführen (Spalten T bis Y, „Neues System“). Das Werkzeug errechnet die neue RPZ für die dadurch implementierte Verbesserung.

In der Spalte AA entscheidet der Anwender, ob die Verbesserungsmaßnahmen ausreichend sind oder nicht.

8. RAM - Berechnung

RAM ist die Abkürzung für Reliability (R) = Zuverlässigkeit, Availability (A) = Verfügbarkeit und Maintainability (M) = Instandhaltbarkeit. Der Parameter Safety (S) = Sicherheit, wurde bereits in Kapitel 6 bis 7 behandelt.

Nachstehend wird die RAM-Berechnung beschrieben.

Diese Berechnung kann in jeder der 14 Lebenszyklusphasen des Systems erfolgen. Für neue Systeme erfolgt sie meistens in der Planungs- und Entwicklungsphase, für bestehende Systeme meist in der Produktions- oder Betriebsphase.

8.1. Allgemeine Informationen zum Berechnungswerkzeug

Das Werkzeug nennt sich „UIC – RAM-calculator“. Es läuft unter MS Excel.

Der RAM-Calculator_UIC besteht aus 4 Dateneingabeblättern.

Für Radsätze kann insbesondere die folgende RAM-Calculator-Datei verwendet werden.

Das Format der Felder ist in allen Tabellenblättern identisch:

- Graue Felder: Kopfzeile bzw. Beschreibung
- Weiße Felder: Ergebnisse. Alle diese Felder enthalten Formeln, die der Anwender nicht verändern soll
- Hellblaue Felder: Eingabefelder
- Die Inhalte sind in den drei verschiedenen Sprachen geschrieben: Deutsch (schwarz), Englisch (rot) und Französisch (blau).

Damit der Anwender nicht irrtümlich weiße oder graue Felder überschreibt, sind alle Felder - außer den hellblauen - gesperrt. Da es allerdings kein Password gibt, kann der Anwender diese Felder auch entsperren.

8.2. Berechnung der RAM mit dem UIC - RAM-calculator

Wenn er den „UIC-RAM-calculator“ geöffnet hat, kann der Anwender Inhalte in jedes der Tabellenblätter eingeben. Es wird empfohlen, mit dem Blatt für die Betriebsdaten (*operation data*) zu beginnen.

8.2.1. Blatt „Operation_Data“

Hier gibt der Anwender die Daten für bis zu vier Objekte ein (Felder B14 bis B17) sowie für die drei Einheiten „km/Jahr“, „Brutto-tkm/Jahr“ und „h/Jahr“.

Dieser Ansatz gilt für viele mechanische Fahrzeugkomponenten. Für andere Komponenten (z.B. WC-System) ist eine Anpassung der Einheiten erforderlich (Felder K14, K18 und 22).

Operation data		Betriebsdaten									
Données d'utilisation											
Ziel Objectif		Aus den Betriebsdaten je Betreiber werden Mittelwerte zur Berechnung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gebildet. Les valeurs moyennes pour le calcul de la fiabilité et la disponibilité sont fabriqués à partir des données d'utilisation pour l'opérateur.									
Anleitung Description		1) Ausfüllen der hellblau gefärbten Zellen. 1) Remplir les cellules de couleurs bleus clair									
Objekt Object	Radsatz wheelset										
		Bauart des Objektes Type of construction	Einheit / Jahr - detaillierte Beschreibung unit / year - detailed description	Mittelwert mean value	Betreiber 1 Operator 1	Betreiber 2 Operator 2	Betreiber 3 Operator 3	Betreiber 4 Operator 4	Betreiber 5 Operator 5	Einheit / Jahr unit / year	
Betriebsdaten Operation data Données d'utilisation	Eurofima	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	derzeit jährliche Laufleistung je Einheit (Mittelwert der Radsatztype) currently annual mileage per unit (mean of type of wheel set)	204.444	200.000	210.000				km	Mittlere Laufleistung bis Eintritt des Fehlers Mean Distance To Failure (MDTF)
		Freight 22.5 to thermostable	Kilometrage annuel actuel par unité (moyenne de type d'essieu axe)	29.600	28.000	30.000				km	Période de distance moyen jusqu'à la fiabilité
		Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable		29.097	32.000	28.000	30.000			km	
				40.000				40.000		km	
	Eurofima	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	derzeit jährliche Brutto - tkm je Einheit (nur für Güterwagen - Mittelwert der Radsatztype) currently annual gross - tkm per unit (only for goods wagons - mean of type of wheel set)	0						Brutto-tkm Gross tkm	Mittlere Brutto-tkm bis Eintritt des Fehlers Mean gross Load-Distance To Failure (MGLDTF)
		Freight 22.5 to thermostable	tkm brut par année actuel par unité (uniquement pour les wagons de marchandises - moyenne de type d'essieu axe)	0						Brutto-tkm Gross tkm	Période de distance gross moyen jusqu'à la fiabilité
		Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable		0						Brutto-tkm Gross tkm	
				0						Brutto-tkm Gross tkm	
	Eurofima	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	Betriebs-h (Fahrzeug in Nutzung) pro Jahr und Einheit (nähere Informationen siehe Reiter "Info_Operating hours") Operation-h (wagon in use) per year per unit (for more information see sheet "Info_Operating hours")	0						h	Mittlere Betriebszeit bis Eintritt des Fehlers Mean Operation Time To Failure (MTTF)
		Freight 22.5 to thermostable	Heures de travail par année et par unité (pour plus d'informations, voir feuille «Info_Operating hours»)	0						h	Période d'opération moyen jusqu'à la fiabilité
		Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable		0						h	
				0						h	

Tabelle 9 - Screenshot des Excel-Blatts Operation_Data (die Eingabewerte sind beispielhaft genannt)

Da die Aufzeichnung der Betriebsstunden spezielle Probleme mit sich bringen kann, wird dieses Verfahren im folgenden Unterpunkt 8.2.1.1.1 erläutert.

8.2.1.1. Bestimmung der Betriebsstunden

Die Bestimmung der Betriebsstunden ist wichtig für die Berechnung der Zuverlässigkeit (immer für jeweils ein Jahr) und der Verfügbarkeit. Die Betriebsstunden müssen immer auf eine Einheit, in unserem Beispiel auf den Radsatz, bezogen sein.

Da die verfügbaren Datenerfassungssysteme die Betriebsstunden des Radsatzes nicht direkt messen können, muss ein mehrstufiges Verfahren angewandt werden:

- Der Radsatz wird entweder als einzelner Radsatz oder in einem Drehgestell verbaut.
- Der Radsatz kann nur verwendet werden, wenn er in ein Schienenfahrzeug eingebaut ist.
- Die Betriebsstunden beziehen sich auf die betrachtete Einheit, z.B. den Radsatz.
- Die Betriebsstunden können berechnet oder geschätzt werden.

8.2.1.1.1. Berechnung der Betriebsstunden

- Folgende Parameter fließen in die Berechnung ein: OHJ (operation hours journey): Fahrzeit des Fahrzeugs vom Abgangs- bis zum Bestimmungsort, bei Güterwagen einschl. Rangierzeit und Abhol- bzw. Lieferzeit vom/beim Kunden.
- OHL (operation hours loading / unloading): Zeit für Be- und Entladung, z.B. von der Bereitstellung des Wagens für die Beladung bis zur Abholung vom Kunden (die Fahrzeit OHJ beginnt nach der Abholung). Dieser Parameter gilt nur für Güterwagen.

- OHML: Zeit für die Ablieferung und Abholung von Wagen für die geplante Instandhaltung in der Werkstatt einschließlich Instandhaltungszeit für Maßnahmen während des Betriebs (MIS) bei eingebauten Radsätzen. Für andere im Fahrzeug eingebaute Komponenten gilt dasselbe Verfahren.
- OHPR: Zeit für die Bereitstellung der Fahrzeuge im Personenverkehr für Reisezugwagen und Triebzüge, z.B. zur Befüllung mit Betriebsmitteln, Reinigung, Vorheizung usw.
- n: Zahl der Fahrten (in eine Richtung), Hin- und Rückfahrt gelten als komplette Rundfahrt und werden als „2“ gezählt.
- k: Zahl der Betriebshalte zur Bereitstellung der Personenzüge
- m: Zahl der Instandhaltungsereignisse

Betriebsstunden/Jahr des Güterwagens: $= n * (OHJ + OHL) + m * OHML$

Betriebsstunden/Jahr des Personenzuges: $= n * OHJ + k * OHPR + m * OHML$

Die Betriebsstunden eines einzelnen Fahrzeugs können abgeleitet werden aus:

- dem Kilometerzähler
- ausgehend von den Zugbetriebsdaten (Zugnummer und Bestimmungsort) oder dem Fahrplan

8.2.1.1.2 Schätzung der Betriebsstunden

Liegen keine Daten vor, kann nach folgendem Schema geschätzt werden:

- DIST [km]: Durchschnittliche Entfernung zwischen dem Abgangs- und Bestimmungsort im Streckennetz
- V [km/h]: mittlere Fahrgeschwindigkeit des Bahnbetreibers
- R [..]: Zahl der Fahrten (in eine Richtung), Hin- und Rückfahrt gelten als komplette Rundfahrt und werden als „2“ gezählt.
- MIS-DC [h]: Zeit für die betriebsnahe Instandhaltung (MIS) einschließlich Abholung und Ablieferung des Fahrzeugs

Betriebsstunden/Jahr $= DIST / V * R + MIS-DC$

8.2.1.2. Bestimmung der Anzahl der Komponenten

Die Anzahl der Komponenten wird in die zweite MS-Excel-Tabelle, Blatt „operation data“ eingegeben.

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

		Anzahl Einheiten Number of units Nombre de component					
		Gesamt* Totale*	Betreiber 1 Operator 1 Opérateur 1	Betreiber 2 Operator 2 Opérateur 2	Betreiber 3 Operator 3 Opérateur 3	Betreiber 4 Operator 4 Opérateur 4	Betreiber 5 Operator 5 Opérateur 5
Mengengerüst Quantity structure Cadre estimatif	Eurofima	1.800	1.000	800			
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	2.500	500	2.000			
	Freight 22.5 to thermostable	6.200	200	3.000	3.000		
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable	4.000				4.000	
	Eurofima	1.800	1.000	800			
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	2.500	500	2.000			
	Freight 22.5 to thermostable	6.200	200	3.000	3.000		
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable	4.000				4.000	
	Eurofima	3.600	2.000	1.600			
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	5.000	1.000	4.000			
	Freight 22.5 to thermostable	12.400	400	6.000	6.000		
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable	8.000				8.000	
	Eurofima	3.600	2.000	1.600			
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	5.000	1.000	4.000			
	Freight 22.5 to thermostable	12.400	400	6.000	6.000		
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable	8.000				8.000	
	Eurofima	0					

Operation Data

R

B

A

M

Availability

M

Maintainability

Info

Operation hours

Tabelle 10 - Zweiter Screenshot des Excel-Blatts Operation_Data (die Eingabewerte sind beispielhaft genannt)

8.2.2. Blatt „R_Reliability“

Auf Basis der Betriebsdaten für die definierten Fehlerarten (Spalte D) werden die Verfügbarkeiten (Spalten BG bis BM) berechnet.

Die Tabelle umfasst 71 Spalten, von A bis BS.

Folgenden Daten können für bis zu 5 Betreibern eingegeben werden: „betrachteter Zeitraum“, „Zeitraum: Anzahl der Jahre“, „Anzahl der Fehler in diesem Zeitraum“ und „Anzahl aller Objekte in der Instandhaltung“ („Anzahl aller Objekte in der Instandhaltung“ dient nur zur Information, diese Zahlen wirken sich nicht auf die resultierende Zuverlässigkeit aus), siehe Spalten H bis AJ.

R - Reliability Fiabilité		Zuverlässigkeit															
Ziel Objectif		Berechnung der Zuverlässigkeit (Spalten A bis AB) und der Verfügbarkeiten (Spalten AD bis AL). Die Zuverlässigkeit wird als Mittelwert, Maximalwert und Minimalwert aller Betreiber berechnet. Calcul de la disponibilité et la fiabilité (colonnes A à AB) (voir AD-AL). La fiabilité est calculée comme le moyenn, la valeur maximale et minimale de tous les opérateurs.															
Anleitung Description		1) Ausfüllen der orange gefärbten Zellen. Ggf. befindet sich eine zusätzliche Beschreibung des Inhalts in den gelben Zellen unter der Spaltenüberschrift. Je Betreiber sind Zeitraum und Anzahl der Fehler in diesen Zeiträumen in den Spalten F bis G einzutragen. 2) Remplir les cellules de couleur bleu clair. Si nécessaire, une description supplémentaire du contenu se trouve dans les cellules jaunes sous la rubrique de la colonne. Par opérateur pour la période définie le nombre d'erreurs et la durée de la période sont entrés dans les colonnes F à G.															
		Gesamt Total				Betreiber 1 Operator 1				Betreiber 2 Operator 2							
Radetz - Bauart Type of wheelset Construction Désignation	Komponente Component	Beschreibung des Fehlertyps Description of the type of failure	Zeitraum Wochen Number of weeks Période	Anzahl Fehler in diesem Zeitraum Number of failures during this period Nombre d'erreurs au cours de cette période	Datensätze von N Bahnen Data sets from N railway operators Données de N opérateurs	betrachteter Zeitraum considered period Période considérée	Zeitraum: Anzahl Jahre Number of years during this period Période Nombre d'années	Anzahl Fehler in diesem Zeitraum Number of failures during this period Nombre d'erreurs au cours de cette période	Anzahl Objekte Number of all objects Nombre des objets	Anzahl Objekte in der Instandhaltung Number of all objects in maintenance Nombre des objets définis dans le maintien	betrachteter Zeitraum considered period Période considérée	Zeitraum: Anzahl Jahre Number of years during this period Période Nombre d'années	Anzahl Fehler in diesem Zeitraum Number of failures during this period Nombre d'erreurs au cours de cette période	Anzahl Objekte Number of all objects Nombre des objets	Anzahl Objekte in der Instandhaltung Number of all objects in maintenance Nombre des objets définis dans le maintien		
3 Europa Europe	Radscheibe wheel Roue	Anzahl Vollräder ausgetauscht wegen ZFP in Zeitraum X Number of solid wheels sorted out due to HDT in the period X Nombre des rebuts de roues monoblocs pour END en période X	1,5	5	2	01.01.2012 31.12.2012	1,0	2	1.000	30	2010 2012	2,0	3	800	40		
23 Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	Radscheibe wheel Roue	Anzahl Vollräder ausgetauscht wegen ZFP in Zeitraum X Number of solid wheels sorted out due to HDT in the period X Nombre des rebuts de roues monoblocs pour END en période X	2,0	5	2	01.01.2013 31.12.2013	1,0	1	500	20	2010 2013	3,0	4	2.000	120		
24 Freight 22.5 to thermostable	Radscheibe wheel Roue	Anzahl Vollräder ausgetauscht wegen ZFP in Zeitraum X Number of solid wheels sorted out due to HDT in the period X Nombre des rebuts de roues monoblocs pour END en période X	1,5	1	2	01.01.2011 31.12.2013	2,0	0	200	5	01.01.2011 31.12.2011	1,0	1	3.000	100		
25 Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable	Radscheibe wheel Roue	Anzahl Vollräder ausgetauscht wegen ZFP in Zeitraum X Number of solid wheels sorted out due to HDT in the period X Nombre des rebuts de roues monoblocs pour END en période X	0,0	0	0				700	0				5.000			

Tabelle 11 - Erster Screenshot des Excel-Blatts R-Reliability (die Eingabewerte sind beispielhaft genannt)

Dieses Blatt ist wie folgt strukturiert:

- Spalte C: Definition der Komponente
Im Blatt „Operation_data“ können bis zu vier Komponenten definiert werden. Die Zuverlässigkeitswerte werden parallel berechnet, siehe Spalte A. Wenn vier Objekte verglichen werden, muss die ausgewählte Komponente in Spalte C identisch sein.
- Spalte D: Definition des Fehlertyps, der sich auf die Zuverlässigkeit und damit auf die Verfügbarkeit der Komponente ausgewirkt hat.
- Spalten H bis AF: Eingabe folgender Daten: „betrachteter Zeitraum“, „Anzahl der Jahre“, „Fehlerzahl während dieses Zeitraums“ für bis zu 5 Betreiber. Die Ergebnisse aus den Spalten E und F werden für weitere Berechnungen benutzt.
- Spalten AN: Definition der Einheit (h, km, Bruttotonnen) zur Berechnung der Zuverlässigkeit.
Mit Ausnahme der Spalte AN werden alle Spalten zwischen AK und BM automatisch berechnet.
- Spalte BN: Die Einheit des Zuverlässigkeitswerts MTBF (Mean Time Between Failures) ist voreingestellt, im Normalfall auf „Jahre“.
- Spalte BR: Hier wird die gewünschte mittlere Zuverlässigkeit für die Zukunft eingegeben.

Auf Basis dieser Ergebnisse (Spalten BM und BR) wird die Verfügbarkeit in Blatt A_Availability (siehe nächster Punkt) berechnet.

8.2.3. Blatt „A_Availability“

Zur Optimierung der Verfügbarkeit werden die aktuelle Verfügbarkeit (*today*) und die künftige Verfügbarkeit berechnet. Die Einheit ist „Stunden“ (h).

Bei der Berechnung der Verfügbarkeit wird von den für diese Komponente definierten Fehlern ausgegangen (siehe Blatt R_Reliability) und daher kann eine einzige Komponente mehrere Verfügbarkeitswerte haben. Zum Beispiel können die Ergebnisse aus den Spalten 15 und 19 aus dem Blatt R_Reliability als Umkehrwerte in Spalte E des Blattes A_Availability eingegeben werden. Ausgehend von den Erfahrungen der Bahnen wurden die sonst verwendeten Begriffe „präventive Instandhaltung“ und „korrektive Instandhaltung“ durch folgende, bei den Bahnen üblichen Begriffe ersetzt: betriebsnahe Instandhaltung und Instandhaltung im ausgebauten Zustand (Definitionen siehe unten). Der Begriff „Zeit für logistische und administrative Aufgaben“ ist unterteilt in die beiden Kategorien „während des Betriebs“ und „außerhalb des Betriebs“ des Fahrzeugs. Dies bezieht sich auf einen Zeitraum (oder die einzelnen Einheiten, wenn so genehmigt) und wird nach der üblichen Methode berechnet.

- Zeit für betriebsnahe Instandhaltung (*maintenance in service - MIS*): umfasst den Zeitraum, der bei laufendem Betrieb des Fahrzeugs unter normalen Betriebsbedingungen für die Instandhaltung und die Überprüfung des Systems (z.B. Radsatz) erforderlich ist. Es zählt die Zeit für ein Ereignis, das zu einem Ausfall führt. Erfolgt die Instandhaltung in der Werkstatt, beginnt der Zeitraum bei Ankunft des Fahrzeugs in der Werkstatt.
- Zeit für Instandhaltung im ausgebauten Zustand (*maintenance off the vehicles - MOV*): umfasst den Zeitraum der für die Instandhaltung und die Überprüfung des Systems (z.B. Radsatz) im ausgebauten Zustand erforderlich ist. Es wird die Zeit für ein Ereignis kalkuliert, das zu einem Ausfall führt.
- Zeit für logistische und administrative Aufgaben der betriebsnahen Instandhaltung (*logistic and administrative issues for maintenance in service - LAMIS*) und die Zeit für logistische und administrative Aufgaben der Instandhaltung im ausgebauten Zustand (*logistic and administrative issues for maintenance off the vehicles - LAMOV*): umfasst die Zeitspanne, ab dem Zeitpunkt zu dem die Komponente nicht einsatzbereit ist bis zu ihrer Reparatur, dem Einbau und ihrer erneuten Einsatzbereitschaft. Darin ist z.B. der Abtransport und die Anlieferung zur Werkstatt enthalten, für die Bestellung der Ersatzteile, die Wartezeit auf Grund von Überlastung der Werkstatt oder auch die Zeit für die Vorbereitung der Instandhaltungsarbeiten. Für Radsätze ist die Zeit für den Aus- und Einbau inbegriffen.

Wenn für verschiedene Instandhaltungsarbeiten in einer Instandhaltungskategorie (MIS, MOV, LAMOV, LAMIS) unterschiedliche Zeiten erforderlich sind, bildet der Anwender den Durchschnitt der Zeiten für die einzelnen Arbeiten.

Daraus ergeben sich vier unterschiedliche Verfügbarkeitsarten:

- inhärente Verfügbarkeit → Zeit (Instandhaltung während des Betriebs => MIS)
- Logistische Verfügbarkeit MIS → Zeit (betriebsnahe Instandhaltung + Zeit für logistische Aufgaben => MIS + LAMIS)
- Technische Verfügbarkeit → Technische Verfügbarkeit: Zeit (betriebsnahe Instandhaltung + Instandhaltung im ausgebauten Zustand => MIS + MOV)
- Gesamtverfügbarkeit → Zeit (betriebsnahe Instandhaltung + Instandhaltung im ausgebauten Zustand + für logistische Aufgaben => MIS + MOV + LAMOV + LAMIS)

— 26 —

8.2.4. Blatt „M_Maintainability“

In diesem Blatt werden die Arbeitsstunden der Mitarbeiter und der Mittelbedarf für die Produktion berechnet. Das Ergebnis kann als Input für das Blatt A_Availability und für die LCC benutzt werden.

M - Maintainability Instandhaltbarkeit														
Facilité de maintenance														
<p>Ziel Ermittlung des Zeitbedarfs für Instandsetzungstätigkeiten als Grundlage für LCC-Berechnungen und als Vergleich zwischen zwei Radatzbauarten.</p> <p>Objekt Détermination du temps nécessaire pour les activités de réhabilitation comme base pour les calculs de la LCC et comme une comparaison entre les deux types de structure de phrase de roue.</p> <p>Anleitung 1) Ausfüllen der nebeneinanderstehenden Zellen. Ggf. befindet sich eine zusätzliche Beschreibung des Inhalts in den gelben Zellen unter der Spaltenüberschrift. 2) Der Zeitbedarf (Anzahl Stunden) wird jeweils ermittelt für die Ausführung einer der beschriebenen Tätigkeiten. 3) In der Spalte "Summe Personalstunden" ist zur Ermittlung des gesamten Zeitbedarfs dieser Tätigkeit mit der Vor- und Nacharbeit der Zeitaufwand aller dafür vorangehenden Tätigkeiten zu addieren. 4) Manuelles Übertragen der Daten in den LCC-Rechner.</p> <p>Description 1) Remplir les cellules de calculs deux côté. Si nécessaire, une description supplémentaire du contenu se trouve dans les cellules jaunes sous le rubrique de la colonne. 2. Le temps nécessaire (nombre d'heures) les activités décrites est déterminé à exécuter enchaînement. 3) Dans la colonne «somme de travail total» prend du temps de tous pour des activités entraineurs à ajouter afin de déterminer le temps total nécessaire dans cette activité, y compris le pré- et de finition. 4) Transfert manuel de données dans l'outil de la LCC calculator.</p>														
<p>Zusatzinformation für LCC-Berechnung Informations supplémentaires pour le calcul de la LCC</p> <p>Zusatzinformation für LCC-Berechnung Informations supplémentaires pour le calcul de la LCC</p>														
Komponente Component Composant	Beschreibung der Tätigkeit Description of the activity Description de l'activité	Instandhaltbarkeit - Parameter Parameter of the maintainability Paramètre de la facilité de maintenance	Kurzbezeichnung Parameter Shortcode parameter maintainability	Anzahl Stunden Number of hours Nombre d'heures	Einheit unit	Anzahl erforderliches Personal Number of required staff Nombre de la disponibilité de personnel	Anzahl Personalstunden Number of staff hours Nombre d'heures du personnel	Einheit unit	Erforderliche Ersatzteile Required spare parts Pièces d'échange requies	Preis für erforderliche Ersatzteile Price for the required spare parts Prix pour pièces d'échange requies	Preis für sonstiges Material Price for other material Prix pour autre matériel	Preis für Hilfsstoffe Price for auxiliary supplies Prix pour matériel auxiliaire	Erforderliche Hilfsmittel Required auxiliary means Pièces pour outils requies	Preis für Hilfsmittel Price for auxiliary means Prix pour outils requies
Radatz Essieu	Einbau des Güterwagen-Radatzes in das Fahrwerk Mounting a freight wagon wheelset in the chassis box	Mittlere Einbaugeschwindigkeit aus Fahrwerk Mean Time To Mount (MTT _{Ma})	MTT _{Ma}	1	h	2	2	h			e.g. for screws	e.g. for grease	a) 40 t-Fahrzeugen b) abmontierbarer Gleitabschnitt	
Radatz Essieu	Einbau des Güterwagen-Radatzes in das Fahrwerk Mounting a freight wagon wheelset in the chassis box	Mittlere Einbaugeschwindigkeit aus Fahrwerk Mean Time To Mount (MTT _{Ma})	MTT _{Ma}	1	h	2	2	h					a) 40 t-Fahrzeugen b) abmontierbarer Gleitabschnitt	
Radatz Essieu	Reparatur des Güterwagen-Radatzes in das Fahrwerk Repairing wheels off the vehicle	Mean Time To S1 (MTT _{S1})	MTT _{S1}	5	h	5	5	h						
Radatz Essieu	Medium maintenance for freight wagon wheelsets	Mean Time To S1 (MTT _{S2})	MTT _{S2}	10	h	10	10	h	partly new bearings, 10% new	30 EUR			10 EUR	
Radatz Essieu	Heavy maintenance for freight wagon wheelsets	Mean Time To S1 (MTT _{S2})	MTT _{S2}	10	h	10	10	h	partly new bearings, 10% new plus 2 new wheels	1.230 EUR			10 EUR	
						0	0							
						0	0							

Tabelle 13 - Screenshot des Excel-Blatts M_Maintainability (die eingegebenen Daten sind Beispiele)