

Die Nutzung der FMEA bei der Optimierung von Instandhaltungsplänen für Schienenfahrzeuge

Die DB Systemtechnik GmbH nutzt für die Erstellung und Änderung von Instandhaltungsplänen für Eisenbahn-Fahrzeuge eine spezielle Adaption des FMEA-Verfahrens, um dem Stand der Technik zu entsprechen und die notwendige Rechtssicherheit zu gewährleisten.



1. Hintergrund

Ein wichtiges Ziel des im Jahr 2020 vorgestellten Masterplans Schienenverkehr zur Weiterentwicklung der Eisenbahn in Deutschland ist die kontinuierliche Steigerung von Qualität und Umfang der Verkehrsangebote im Schienenverkehr bei gleichzeitiger Reduzierung der Kosten. Grundvoraussetzung dafür ist eine hohe Verfügbarkeit der Schienenfahrzeuge. Diese wird erreicht, wenn keine ungeplanten Ausfälle auftreten und das Fahrzeug immer dann einsatzbereit ist, wenn dessen Nutzung vorgesehen ist. Niedrige Verfügbarkeiten deuten hinge-

gen auf längere ungeplante Stillstände hin, die in der Regel durch Störungen und Defekte verursacht werden und durch eine geeignete Instandhaltungsstrategie vermieden werden können. Dabei kommt den Instandhaltungsprozessen eine hohe Bedeutung zu, weil sie sowohl die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Fahrzeuge als auch die damit verbundenen Kosten maßgeblich beeinflussen. Schienenfahrzeuge sind auf der Grundlage von Instandhaltungsvorgaben in einem sicheren Betriebszustand zu halten. Der Instandhaltungsplan ist Teil des Instandhaltungssystems und stellt mit seiner Anwendung sicher, dass das Fahrzeug



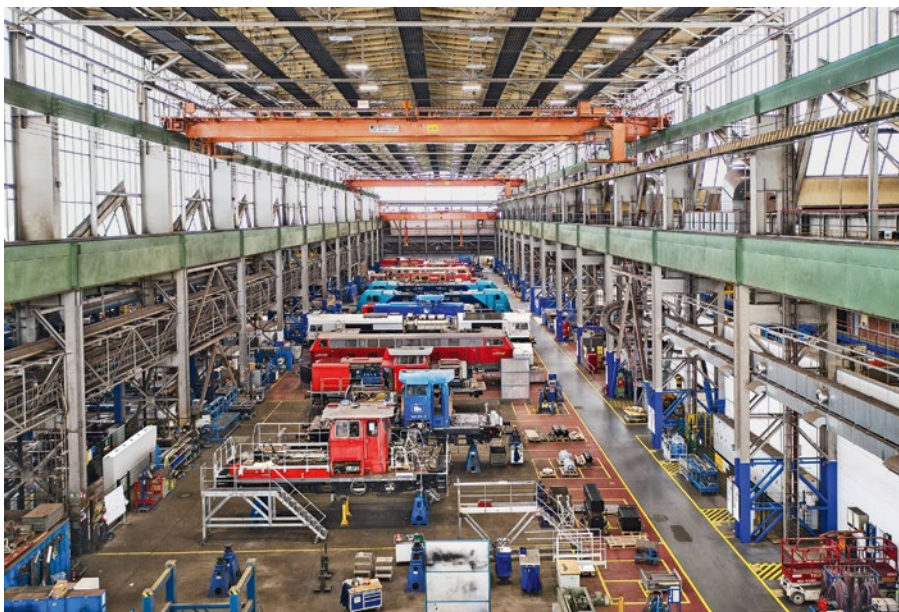
Dipl.-Ing. Silvia Hujer

Referentin Instandhaltungssysteme Schienenfahrzeuge bei der DB Systemtechnik GmbH, Brandenburg-Kirchmöser
silvia.hujer@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. Klaus Kühnert

Prokurist und Systemanalytiker für RAMS und LCC bei IZP Dresden mbH, Dresden
k.kuehnert@izp.de



1: DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH – Werk Cottbus

Quelle: Deutsche Bahn AG/Max Lautenschläger

dem Sollzustand entspricht und der sichere Betriebszustand erreicht wird.

2. Erstellung und Änderung eines Instandhaltungsplans

Alle planmäßigen Instandhaltungsmaßnahmen und zugehörigen Instandhaltungsintervalle für einen Fahrzeugtyp, dessen Subsysteme, Baugruppen und Komponenten werden in einem Instandhaltungsplan festgelegt. Dieser Plan stellt ein strukturiertes Dokument dar, das aufbauend auf den Instandhaltungsstufen (oder Friststufen) und den Grenzwerten der Intervalle (zum Beispiel Fahrzeugkilometer, Betriebsstunden oder Betätigungsspiele) die durchzuführenden Arbeiten vorgibt. Unterschiedliche Einsatzbedingungen können auch verschiedene Instandhal-

tungspläne je Fahrzeugtyp erfordern. Ein neu erstellter Instandhaltungsplan oder erforderliche Änderungen an einem bestehenden Plan müssen dem jeweiligen Stand der Technik entsprechen und eine notwendige Rechtssicherheit bieten.

Die Umsetzung der Instandhaltungsvorgaben, deren Bestandteil der Instandhaltungsplan ist, erfolgt in den jeweils hierfür vorgesehenen Werkstätten der Instandhalter.

Die DB Systemtechnik GmbH als europaweit führendes Kompetenzzentrum für Bahntechnik bietet seinen Kunden maßgeschneiderte Lösungen für den sicheren, zuverlässigen und kundengerechten Bahnbetrieb an. So werden Schienenfahrzeugbetreiber auch bei der Erstellung und bei der Optimierung der Instandhaltungspläne von erfahrenen Instandhaltungsspezialisten begleitet.

Die Erstellung und Änderung von Instandhaltungsplänen erfolgt gemäß der DIN EN 17023 „Instandhaltung von Eisenbahnfahrzeugen- Erstellung und Änderung von Instandhaltungsplänen“. Diese Norm beschreibt die Methodik und die Elemente, die von der Erstellung über die Änderung bis hin zur Validierung eines Instandhaltungsplans für Eisenbahnfahrzeuge im Rahmen der präventiven In-

standhaltung zu berücksichtigen sind. Zu den allgemeinen Anforderungen gehören dabei folgende Punkte:

- Vorbereitung und Auswahl erforderlicher Dokumente und Eingangsgrößen (Felddaten);
- Analyse der Eingangsgrößen;
- Entwicklung des Instandhaltungsplans bis zu seiner Validierung;
- anzuwendende Verfahren für die Erstellung eines Instandhaltungsplans;
- Gründe für die Überprüfung eines aktuellen Instandhaltungsplans;
- Risikobewertung und anzuwendende Verfahren für die Änderung von Instandhaltungsplänen;
- Monitoring-Prozesse (Dokumentation, Verifizierung, Validierung, Rollen, erforderliche Fähigkeiten und Fertigkeiten).

Ist eine Änderung der Instandhaltungsvorgaben für Schienenfahrzeuge beabsichtigt, ist zu prüfen, ob sicherheitsrelevante Bauteile von der Änderung betroffen sind. Die DIN EN 17023 enthält hierzu u.a. die Abschnitte 6.3 „Folgenabschätzung“ und 6.4 „Risikoakzeptanz“. Als ein Verfahren zur Risikobeurteilung ist die Durchführung und Dokumentation der FMEA-Bewertungen zu nennen. Diese ist

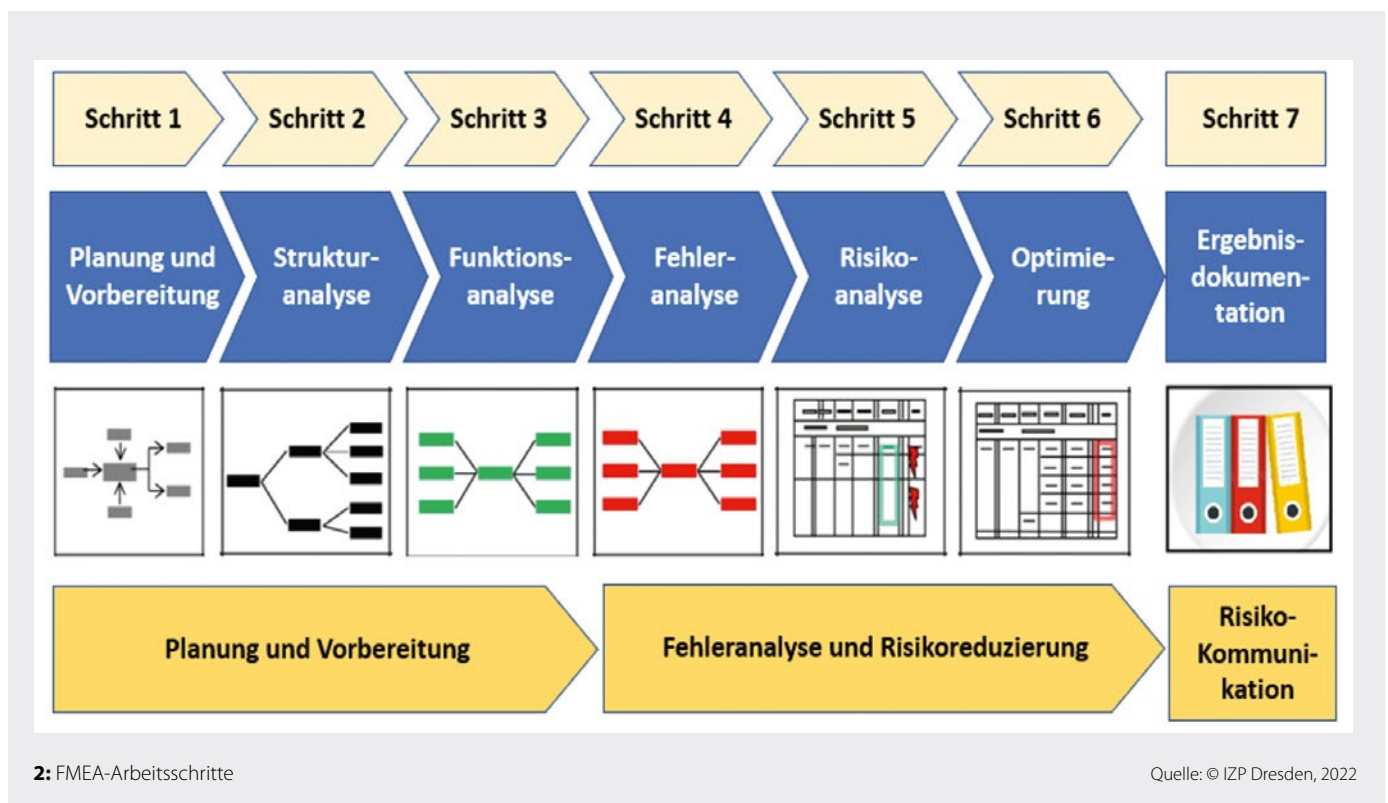
Basisarbeit zur Ermittlung der Sicherheitsrelevanz der beabsichtigten Änderung eines Instandhaltungsplanes und somit Ausgangsinformation bei der Anwendung der CSM-RA „Common Safety Method for Risk Evaluation and Assessment“ entsprechend EU VO 402/2013.

3. Risikoanalyse und Bewertung mittels FMEA

Die FMEA (englisch Failure Mode and Effects Analysis, deutsch Fehlermöglichkeits- und -einfluss-Analyse) ist ein bewährtes Analyseverfahren der RAMS¹⁾-Methodik, mit deren Hilfe sich Ereignisauswirkungen systematisch untersuchen lassen, die in einem System verursacht werden und die in erster Linie zu sicherheits- und zuverlässigkeitsrelevanten Folgen führen können.

Die klassische FMEA stellt eine entwicklungs- und planungsbegleitende Risikoanalyse dar, die in einem Produktentstehungsprozess möglichst frühzeitig Fehler und Fehlerursachen des betrachteten Systems oder Prozesses erkennen und mittels festgelegter Maßnahmen ausschließen

1) RAMS: Reliability (Zuverlässigkeit), Availability (Verfügbarkeit), Maintainability (Instandhaltbarkeit), Safety (Sicherheit)



2: FMEA-Arbeitsschritte

Quelle: © IZP Dresden, 2022

soll. Die Anwendungsgebiete erstrecken sich dabei von der Einzelentwicklung über die Kleinserienfertigung bis hin zur Serienproduktion sowie hinein in die Verfahrenstechnik und in den Dienstleistungsbereich.

Aufgrund der anschaulichen und nachvollziehbaren Vorgehensweise lässt sich das Standard-FMEA-Verfahren aber auch für viele besondere Aufgaben nutzen und entsprechend adaptieren.

Das Verfahren FMEA/FMECA²⁾ hat mit dem United States Military Standard MIL-STD-1629, wie so viele andere Begriffe und Methoden aus der Zuverlässigkeitstheorie, seine Ursprünge im Militärwesen. Die erfolgreiche Herangehensweise fand schnell auch Einzug in die Raumfahrt, die Luftfahrtindustrie sowie den Nuklearsektor und die Lebensmittelindustrie. Nach einer verstärkten Nutzung in der Automobilindustrie haben auch andere Branchen die Zweckmäßigkeit der Methode erkannt und setzen diese immer häufiger systematisch ein, begleitet mit einer allgemeinen Standardisierung des Verfahrens.

Als aktuelle Standards für die FMEA sind die europäische Norm DIN EN 60812, der Anwendungsleitfaden DIN EN 60300-3-1 und das automobilspezifische Handbuch von VDA³⁾ und AIAG⁴⁾ vorherrschend.

Der RAMS-Prozess für Bahnanwendungen auf Basis des Systemlebenszyklus nach DIN EN 50126 empfiehlt die FMEA bzw. FMECA ebenfalls als ein geeignetes Verfahren für die Risikoanalyse.

4. Anwendung des FMEA-Verfahrens durch die DB Systemtechnik GmbH

Die Nutzung der FMEA bei der Erstellung und Änderung von Instandhaltungsplänen stellt einen speziellen Anwendungsfall dar, weil diese Analyse einerseits auf die Definition oder Änderung von Prozessen abzielt, andererseits ihr Gegenstand aber nicht die Instandhaltung selbst, sondern das instandzuhaltende Fahrzeug bzw. dessen Bauteile, Komponenten und Systeme sind. Eine solche Adaption des allgemeinen FMEA-Verfahrens ist nach DIN EN 60812 ausdrücklich zulässig, „um den Anwendungs- und Projektanforderungen zu entsprechen“. Die FMEA soll hier mithelfen, ein akzeptables Risiko für die Betriebssicherheit zu erreichen, indem Instandhaltungsmaßnahmen

so erstellt oder geändert werden, dass das Erkennen von Schäden oder Ausfällen an Bauteilen/Komponenten rechtzeitig möglich ist, bevor sie zu sicherheitsrelevanten Fehlerfolgen führen.

Dieses individuelle FMEA-Verfahren wurde gemeinsam mit dem RAMS/LCC-Dienstleister IZP Dresden mbH weiterentwickelt und teilweise automatisiert. Speziell zugeschnittene MS Excel-Arbeitsmappen im Formblatt-Layout gestatten es, mit Hilfe von Makros die Berechnungen für die einzelnen Risikobewertungen beim Erstellen und Ändern von Instandhaltungsplänen durchzuführen und die Zulässigkeit von Maßnahmen direkt anzuzeigen. Vorteil dieser auf MS Office basierten Lösung ist, dass Anpassungen an den Formblattinhalten oder am Bewertungsmaßstab schnell und einfach möglich sind und kein aufwendiges Update einer Spezialsoftware erfolgen muss.

Die FMEA wird in dieser Form bereits seit über zehn Jahren erfolgreich von den Fachleuten der DB Systemtechnik GmbH eingesetzt und jeweils in einer Projektgruppe unter Leitung eines speziell qualifizierten Mitglieds durchgeführt, das auf Grund seiner methodischen, fachlichen, kommunikativen und technischen Kompetenz für die Organisation, Durchführung und Dokumentation der Analyse geeignet ist. Die Mitglieder der Projektgruppe werden so ausgewählt, dass sie über die entsprechenden Fachkenntnisse verfügen und zum Fortschritt der FMEA beitragen können.

Das Bewertungsverfahren folgt der klassischen FMEA-Methodik. Dabei wird das Risiko in Form einer Risikoklasse aus der Eintrittshäufigkeit einer Fehlerfolge und der Schwere bzw. Bedeutung dieser Fehlerfolge ermittelt. Die Bedeutung einer Fehlerfolge lässt sich unmittelbar einschätzen. Die Bewertung der Eintrittshäufigkeit für die Fehlerfolge wird aus der angenommenen Auftretenswahrscheinlichkeit (in der Regel gleichbedeutend mit der Ausfallwahrscheinlichkeit des Bauteils bzw. der Komponente) und aus der Entdeckungswahrscheinlichkeit (die Möglichkeit, Schäden bzw. Ausfälle frühzeitig zu erkennen) der zugrundeliegenden Fehler berechnet. Die Risikobewertung wird durch vordefinierte Bewertungskataloge sowie eine Risikomatrix unterstützt.

Die Bewertungskennzahl B für die Bedeutung der Fehlerfolge charakterisiert die möglichen resultierenden Auswirkungen eines Fehlers auf die Anforderungen an die Sicherheit, auf den Benutzer oder die Um-

welt sowie auf das funktionale Verhalten des Systems oder Prozesses. Für die B-Bewertung sind 5 Klassen vorgesehen.

Die Einschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit möglicher Fehler erfolgt mit der Bewertungskennzahl A. Diese Bewertung muss sowohl die Kenntnis der Ausfallhäufigkeit als auch die Betriebs- und Einsatzbedingungen (Laufleistung, Einsatzdauer, Geschwindigkeit, Streckenprofil, usw.) berücksichtigen. Hierzu können Ergebnisse von Felddatenanalysen, Daten aus der Lebensdauerprüfung der Komponenten, Referenzdaten von ähnlichen Komponenten oder aus frei verfügbaren Kennwertedatenbanken herangezogen werden. In den Fällen, in denen keine Daten zur Verfügung stehen, sind qualifizierte Experteneinschätzungen zulässig, zum Beispiel durch die Projektgruppe, technische Fachdienste oder Komponentenverantwortliche. Die A-Bewertung sieht 6 Klassen vor.

Für die Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers werden zwei Kennzahlen unterschieden: E_{IS} und E_{ISIS} . Sie charakterisieren beide die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler vor Eintritt der Fehlerfolge zu erkennen. Die Bewertungskennzahl E_{IS} beschreibt dabei die Wahrscheinlichkeit, den betreffenden Fehler während der Durchführung einer planmäßigen Instandhaltungsmaßnahme (entsprechend der Instandhaltungsstufe, IS) zu finden. Dagegen charakterisiert die Bewertungskennzahl E_{ISIS} die Wahrscheinlichkeit, dass der Fehler zwischen zwei planmäßigen Instandhaltungsmaßnahmen entdeckt wird, zum Beispiel im laufenden Betrieb durch ein On-Board-Diagnosesystem, durch den Vorbereitungs- und Abschlussdienst des Triebfahrzeugführers oder durch das Zugbegleitpersonal. Beiden E-Kennzahlen liegt derselbe Bewertungskatalog mit insgesamt 5 Klassen zugrunde.

Die Risikoermittlung erfolgt mit Hilfe einer Risikomatrix in Anlehnung an DIN EN 50126-1, Anhang C, in der zweidimensional die Bewertung der Schwere eines Fehlers und die Bewertung der Häufigkeit eines solchen Fehlers abgetragen werden. Die Risikoermittlung kombiniert damit die Gesamthäufigkeit des Eintritts eines Fehlerfalls mit der Schwere der Konsequenzen zu einer Risikoklasse.

Die erste Dimension der Risikomatrix ist identisch mit der im Rahmen der FMEA abgeleiteten Bedeutung B als Maß für die Schwere einer Fehlerfolge. Die zweite Dimension bildet die Eintrittshäufigkeit H der Fehlerfolge. Diese ist nicht identisch mit

2) FMECA: erweiterte FMEA mit zusätzlicher Analyse der Kritizität zur Einstufung der Dringlichkeit von Maßnahmen

3) VDA: Verband der Automobilindustrie e.V.

4) AIAG: Automotive Industry Action Group

			Bedeutung der Schwere der Fehlerfolge (B)				
			1 unbedeutend	2 geringfügig	3 mäßig	4 kritisch	5 katastrophal
Berechnete Eintrittshäufigkeit der Fehlerfolge (H)	25 bis 30	häufig	unerwünscht	nicht akzeptabel	nicht akzeptabel	nicht akzeptabel	nicht akzeptabel
	20 bis < 25	wahrscheinlich	akzeptabel	unerwünscht	unerwünscht	nicht akzeptabel	nicht akzeptabel
	15 bis < 20	gelegentlich	akzeptabel	akzeptabel	unerwünscht	unerwünscht	nicht akzeptabel
	10 bis < 15	selten	vernachlässigbar	akzeptabel	akzeptabel	unerwünscht	unerwünscht
	5 bis < 10	unwahrscheinlich	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	akzeptabel	akzeptabel
	1 bis < 5	unvorstellbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar

3: Risikomatrix in Anlehnung an DIN EN 50126-1, Anhang C

Quelle: © DB Systemtechnik GmbH, IZP Dresden, 2011

der FMEA-Bewertung für die Auftretenswahrscheinlichkeit A, weil es sich dabei lediglich um die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Fehlers handelt und für die Eintrittshäufigkeit der Fehlerfolge zusätzlich die Entdeckungswahrscheinlichkeit des Fehlers (also E_{IS} und E_{SIS}) zu berücksichtigen ist.

Die Eintrittshäufigkeit der Fehlerfolge kombiniert die Bewertungen A, E_{IS} sowie E_{SIS} zu einem skalaren Wert $H = E \times A$ mit entsprechender Gewichtung der einzelnen Bewertungsfaktoren für die Entdeckungswahrscheinlichkeiten gemäß der Formel $E = (5 \times E_{SIS} + 1 \times E_{IS}) / 6$. Die Entdeckbarkeit zwischen zwei planmäßigen Instandhaltungsmaßnahmen hat somit einen höheren Einfluss auf das resultierende Risiko als die mögliche Entdeckung während der Durchführung einer Maßnahme.

5. Das FMEA-Verfahren bei der Erstellung und Änderung von Instandhaltungsplänen

5.1. Instandhaltungspläne neu erstellen

Bei der Erstellung von Instandhaltungsplänen geht es darum, alle planmäßigen Instandhaltungsmaßnahmen für ein Fahrzeug und dessen Komponenten, Bauteile und Systeme, einschließlich der zugehörigen Instandhaltungsintervalle so zu definieren, dass das Fahrzeug über die gesamte Lebensdauer die Anforderungen an die Sicherheit des Eisenbahnbetriebs erfüllt. Die in diesem Zusammenhang erstellte FMEA bildet damit auch einen Bestandteil des Sicherheitsnachweises.

Zunächst werden alle Elemente hinsichtlich der Bedeutung möglicher Fehlerfolgen bewertet. Für sicherheitsrelevante Fehler (kritische oder katastrophale Folgen) und für bestimmte vordefinierte sicherheitsrelevante Bauteile muss die FMEA in vollem Umfang durchgeführt werden. Für nicht sicherheitsrelevante Fehler (unbedeutende, geringfügige oder mäßige Auswirkungen) reicht es aus, die FMEA so umzusetzen, wie es die Anforderungen an Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Kundenzufriedenheit verlangen.

Die FMEA für die Erstellung von Instandhaltungsplänen unterteilt sich in folgende Schritte:

1. Struktur- und Funktionsanalyse des zu untersuchenden Fahrzeuges;
2. Analyse von Fehlfunktionen;
3. Erstellung und Bewertung der Fehlerketten;
4. Festlegung und Bewertung von Instandhaltungsmaßnahmen einschließlich Instandhaltungsintervall.

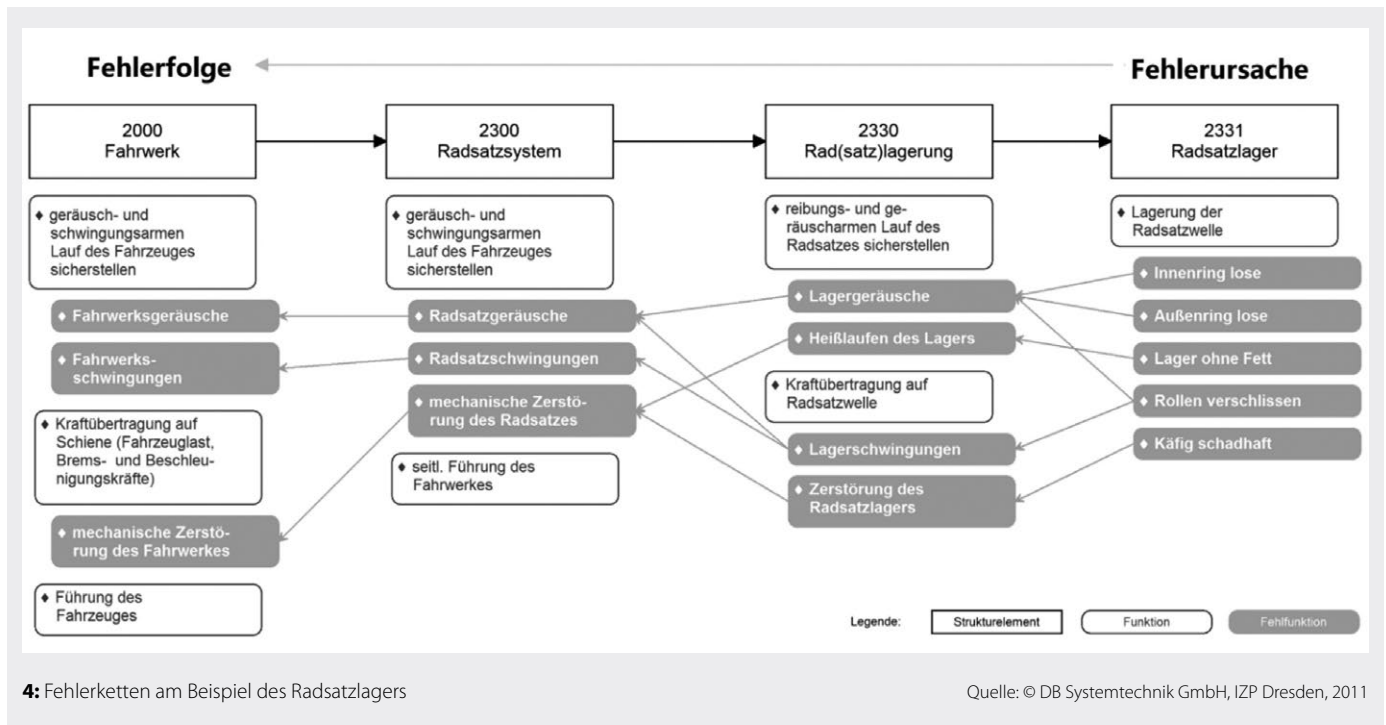
Der erste Arbeitsschritt umfasst die Erstellung der Fahrzeugstruktur und die Beschreibung der Funktionen der Betrachtungseinheiten. Dazu wird das Fahrzeug hierarchisch in die 4 Ebenen System, Subsystem, Komponente und Bauteil unterteilt.

Anschließend werden auf allen Strukturebenen die Funktionen der Strukturelemente beschrieben. Die Funktionen zeigen dabei die technischen Anforderungen auf, die an das Element gestellt werden. Das funktionelle Zusammenspiel der Elemente und die gegenseitige Abhängigkeit sowie

Beeinflussung der Funktionen lassen sich als Funktionsnetz interpretieren, in dem die Systemelemente einer unteren Strukturebene jeweils funktionelle Beiträge für die Systemelemente der übergeordneten Strukturebene liefern.

Im folgenden dritten Schritt werden zu jeder Funktion mögliche Fehlfunktionen (gleichbedeutend mit Fehlern) im Sinne der teilweisen oder vollständigen Nichterfüllung der definierten Funktionen abgeleitet. Die Beschreibung von Fehlfunktionen muss durch eindeutige und prägnante Formulierungen erfolgen, die den Sachverhalt möglichst genau wiedergeben. Das einfache Negieren von Funktionen ist in der Regel nicht ausreichend. Einer Funktion können mehrere Fehlfunktionen zugeordnet werden (zum Beispiel verschiedene Ausfallrichtungen eines Elementes, Risse, Lösen von Befestigungen, usw.). Fehler aus nichtkonformer Bauausführung und Herstellungsfehler spielen bei diesem Anwendungsfall keine Rolle. Anschließend werden die auf den unterschiedlichen Strukturebenen identifizierten Fehler so verknüpft, dass in einer Fehlerkette die Fehler auf unteren Strukturebenen die Ursachen für die Fehlerfolgen auf den höheren Strukturebenen bilden. Insgesamt entsteht auf diese Weise eine Vielzahl von möglichen Fehlerketten im Zusammenhang mit einem Instandhaltungsplan.

Für jede Fehlerkette wird schließlich mit Hilfe der vordefinierten Bewertungskataloge das von ihr ausgehende Risiko eingeschätzt. Diese Bewertung wird mit allen in den vorhergehenden Analyse-



schritten abgeleiteten Informationen in ein vorgegebenes FMEA-Formblatt eingetragen. Fehlerketten, die gemäß Risikomatrix als nicht akzeptabel oder unerwünscht klassifiziert werden, erfordern die Festlegung von Kompensationsmaßnahmen, die der besseren Vermeidung und/oder Entdeckung von Fehlern dienen. Das sind in der Regel Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten, welche die Funktionsfähigkeit eines Bauteils oder einer Komponente erhalten bzw. wiederherstellen. Kompensationsmaßnahmen können immer nur bei möglichen Fehlern ansetzen. Eine Abschwächung der Bedeutung von Fehlerfolgen ist durch die Definition von Maßnahmen nicht realisierbar.

Die Summe aller Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen für eine Fehlerkette muss mindestens zu einer akzeptablen Risikoklasse führen. Aus allen ermittelten Kompensationsmaßnahmen werden anschließend die Instandhaltungsmaßnahmen für das zu erstellende Instandhaltungsprogramm abgeleitet. Dabei kommt auch der Länge des Instandhaltungsintervalls eine entscheidende Bedeutung zu.

5.2. Instandhaltungspläne ändern

Der Zweck der FMEA bei der Änderung von Instandhaltungsplänen besteht da-

rin nachzuweisen, dass die vorgesehene Änderung von Instandhaltungsmaßnahmen und deren Grenzwerte ebenfalls die Anforderungen an die Sicherheit des Eisenbahnbetriebs erfüllen. Änderungen wirken sich auf das Zuverlässigkeitsverhalten von Bauteilen und Baugruppen aus, wenn die Grenzwerte der Instandhaltung verkürzt oder verlängert werden, wenn für bestimmte Bauteile und Baugruppen neue Maßnahmen definiert werden bzw. definierte Maßnahmen wegfallen, wenn Inhalte von Instandhaltungstätigkeiten geändert werden (andere Verfahrensweise oder Messmittel) oder wenn andere Bauteile und Baugruppen eingebaut werden.

Mögliche Anlässe bzw. Gründe, die eine Überprüfung der aktuellen Instandhaltungsvorgaben für eine Fahrzeugbaureihe erforderlich machen und ggf. einer Änderung des Instandhaltungsplanes nach sich ziehen, sind insbesondere:

- technische Änderungen am Fahrzeug,
- Änderungen der Einsatzbedingungen der Fahrzeuge,
- Erfahrungen aus Instandhaltung und Betrieb der Fahrzeuge,
- sicherheitsrelevante Ereignisse mit Ursache der Instandhaltung,
- Gesetzesänderungen und behördliche Auflagen,

- Veränderungen relevanter Normen,
- Senkung der Instandhaltungskosten,
- Änderung des Instandhaltungssystems.

Für die von Änderungen betroffenen Instandhaltungsmaßnahmen gilt analog zur Erstellung von Instandhaltungsplänen, dass die FMEA mindestens für die mit kritischen oder katastrophalen Folgen eingeschätzten Fehler vollständig durchzuführen ist. Bei allen anderen Fehlerketten ist die Entscheidung darüber von den Anforderungen an die Verfügbarkeit, die Zuverlässigkeit und die Kundenzufriedenheit von der Projektgruppe in Absprache mit dem Auftraggeber zu treffen.

Ausgangspunkt der Änderungsanalyse ist ein gültiger Instandhaltungsplan einschließlich der in Instandhaltungstechnischen Weisungen enthaltenen Vorgaben für Instandhaltungsmaßnahmen. Die Vorgehensweise gliedert sich in folgende Schritte:

1. Bewertung der zu ändernden Instandhaltungsmaßnahmen;
2. Bewertung der geplanten Änderungen;
3. Entscheidung über die Zulässigkeit der geplanten Änderungen.

Die FMEA für diese Änderungen erfolgt ähnlich wie bei der Erstellung eines Instandhaltungsplans. Es kommen diesel-

bestehendes Instandhaltungsprogramm								Fehlfunktionen			Bewertung bestehende Instandhaltungsmaßnahmen								Bewertung geänderte Instandhaltungsmaßnahmen								
bestehende Instandhaltungsmaßnahme								Fehlfunktionen			Bewertung bestehende Instandhaltungsmaßnahmen								Bewertung geänderte Instandhaltungsmaßnahmen								
Itd. Nr.	Arbeitsanweisung	Bauteilbezeichnung (Komponente, Baugruppe, Bauteil)	Arbeitsinhalt	bestehend		geändert		Bemerkung	Fehler	Fehlerfolge	Bewertung bestehende Instandhaltungsmaßnahmen								Bewertung geänderte Instandhaltungsmaßnahmen								
				8 Jahre 1,65 Mio. km	10 Jahre 1,65 Mio. km	10 Jahre 1,65 Mio. km	3,3 Jahre 3,3 Mio. km				Anz. RT	B	A	E _S	E _{SIS}	Datenauswertung SAP	H	Risiko-bewertung	Spreizung um x %	Maßnahmen/ Bemerkung/ Begründung	A	E _S	E _{SIS}	H	Risiko-bewertung	Änderung zulässig?	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]	[26]	[27]	
2200.N001	Drehdämpfer (Dämpferaugen)	tauschen	x	x	x	x		auffertungsabhängige Fehler (Lagern) nicht betrachtet, weil Kilometerfrist nicht überfahren wird.	- Risse, Ausartung, Porosität in Gummbuchse (Dämpferaugen)	- verminderte Dämpfung	64	2	2	2	5		9,0	vernachlässigbar		- wird ab IS 100 geprüft		3	2	5	13,5	akzeptabel	ja
0000.N001	Primärreichtfeder	aufarbeiten, tauschen	x	x	x	x		auffertungsabhängige Fehler (Lagern) nicht betrachtet, weil Kilometerfrist nicht überfahren wird.	- Risse, Ausartung, Porosität in Gummschichtfeder	- stoßartige Entkopplung zw. Feder und Dreigewalben verschleißt	64	2	3	2	5		13,5	akzeptabel		- wird ab IS 100 geprüft		4	2	5	18,0	akzeptabel	ja
2000.N001	Radatzführungsbuchse	tauschen	x	x	x	x		auffertungsabhängige Fehler (Lagern) nicht betrachtet, weil Kilometerfrist nicht überfahren wird; Funktion bei hohen Geschwindigkeiten durch Dreigestelldehose erkennbar	- Risse, Ausartung, Porosität in Gummbuchse	- Beeinflussung Fahrbahnpfuhverhalten - Versagen der Spurlenkung	64	4	2	5	4		8,3	akzeptabel		Auflage: Zustand der Buchsen muss bei Erreichen der Zeitfrist (3 Jahre) einmalig im Rahmen der Betriebsarbeiten im elassiert werden		3	5	4	12,5	unerwünscht	nein
0000.N001	Länglenkerbuchse	tauschen	x	x	x	x		auffertungsabhängige Fehler (Lagern) nicht betrachtet, weil Kilometerfrist nicht überfahren wird.	- Risse, Ausartung, Porosität in Gummbuchse	- Kombinationsschlenkung	32	1	3	2	5		13,5	vernachlässigbar		- wird ab IS 100 geprüft		4	2	5	18,0	akzeptabel	ja
	Jochbuchse	tauschen	x	x	x	x		auffertungsabhängige Fehler (Lagern) nicht	- Risse, Ausartung, Porosität in	- Kombinationsschlenkung	16	2	3	2	5		18,0	akzeptabel				3	2	5	14,0	akzeptabel	ja

5: FMEA-Formblatt für die Änderung des Instandhaltungsplans für Drehgestelle

Quelle: © DB Systemtechnik GmbH, 2020

ben Bewertungskataloge und Risikoklassen zur Anwendung.

Ausgangspunkt für die Bewertung geplanter Änderungen am Instandhaltungsplan ist die Grundannahme, dass sich diese Änderungen auf die Eintrittshäufigkeit der Fehlerfolge auswirken. So kann zum Beispiel der Einbau qualitativ besserer oder auch kostengünstigerer, aber dafür weniger zuverlässiger Bauteile Auswirkungen auf die Auftretenswahrscheinlichkeit A eines Fehlers haben, genauso wie veränderte Wartungsverfahren. Schäden an Bauteilen lassen sich durch andere Methoden oder durch eine Veränderung von Instandhaltungsintervallen besser oder schlechter erkennen, wodurch Auswirkungen auf die Entdeckungswahrscheinlichkeiten E_{IS} und E_{SIS} möglich sind. Die Bedeutung B wird sich hingegen nicht ändern, wenn die zu erwartende Fehlerfolge

gegenüber der ursprünglichen Betrachtung unverändert bleibt.

Die Projektgruppe hat die Aufgabe, alle zu ändernden Instandhaltungsmaßnahmen des Instandhaltungsplans daraufhin zu untersuchen, ob daraus eine Neubewertung der zugrunde liegenden Fehlerketten erforderlich wird. Bei einer Spreizung eines Instandhaltungsintervalls ist zum Beispiel gewöhnlich davon auszugehen, dass sich die Bewertungskennzahl A für die Auftretenswahrscheinlichkeit verschlechtert. Aber auch wenn die Projektgruppe annimmt, dass die Bewertungskennzahl dennoch gleich bleibt, ist diese Annahme zu begründen. Alle Bewertungen zu den geplanten Änderungen sowie erforderliche Begründungen werden in das entsprechende FMEA-Formblatt eingetragen, das sich vom Formblatt für die Erstellung von Instandhaltungsplänen nur geringfügig unterscheidet.

Änderungen sind dann zulässig, wenn mindestens die Risikoklasse akzeptabel erreicht wird. Wird eine höhere Risikoklasse ermittelt (unerwünscht oder nicht akzeptabel), können analog zur Verfahrensweise bei der Erstellung von Instandhaltungsplänen zusätzliche Kompensationsmaßnahmen definiert werden, um mindestens eine akzeptable Risikobewertung zu erzielen. Alle getroffenen Bewertungen und Entscheidungen müssen von der Projektgruppe so dokumentiert werden, dass sie auch von Dritten nachvollzogen werden können.

Sowohl ein neu erstellter als auch ein geänderter Instandhaltungsplan muss sich in der Praxis bewähren. Trotz der großen Erfahrung und Fachkenntnis der zuständigen Projektgruppe sind im Betriebs- und Instandhaltungsprozess Effekte möglich,

die während der FMEA-Durchführung noch nicht bekannt waren. Aus diesem Grund ist nach einer projektabhängigen Zeitspanne eine Validierung des Instandhaltungsplans erforderlich. Auch die Validierung beruht auf dem FMEA-Bewertungsmaßstab und ist ebenfalls in den entsprechenden Formblättern zu dokumentieren. Im Rahmen der Validierung des Instandhaltungsplanes ist zu prüfen, ob die Risikobewertungen noch zutreffend sind. Die Ergebnisse der aktualisierten FMEA-Formblätter sind Bestandteil der Nachweisführung für eine erfolgreiche Validierung des Instandhaltungsplanes.

6. Anwendungsbeispiel aus der Praxis der DB Systemtechnik GmbH

Die für einen konkreten Fahrzeugtyp (Baureihe oder Bauart) vorgesehenen Instandhaltungsmaßnahmen sind in der Regel in Tabellenform verfügbar und enthalten Angaben über den Struktur- oder Bauteilcode, die Bauteilbezeichnung, die Tätigkeit, die Qualitätsanforderung einschließlich der Grenzwerte (Betriebsgrenzmaß, Inspektionsgrenzmaß, Instandsetzungsgrenzmaß), zusätzliche Hinweise (Mess- und Prüfmittel, Spezialwerkzeug, Verweise auf Prüfprotokolle, Zeichnungen) sowie die Grenzwerte für das Intervall der Maßnahmen.

In einer beauftragten Untersuchung war durch die DB Systemtechnik zu prüfen, ob der bisher gültige Zeitgrenzwert für die Revision der Drehgestelle einer Fahrzeugbaureihe geändert werden kann. Mit Hilfe des beschriebenen speziellen FMEA-Verfahrens erfolgte die Risikobewertung für alle von der Änderung betroffenen Bestandteile des Instandhaltungsplanes. Im Ergebnis der Analyse konnte die beab-

Die DB Systemtechnik GmbH nutzt eine spezielle Adaption des FMEA-Verfahrens für die Erstellung und Änderung von Instandhaltungsplänen ihrer Kunden, damit sicherheitsrelevante Folgen mit einer nachvollziehbaren Methodik ausgeschlossen werden können

sichtige Grenzintervalländerung durch das FMEA-Projektteam unter Berücksichtigung der Praxiserfahrungen der Instandhaltungsspezialisten für nahezu alle definierten Maßnahmen als zulässig eingestuft werden. Beim Tausch der Radsatzführungsbuchse war diese Bestätigung allerdings nicht möglich, weil sich auf Grund der eingeschätzten höheren Auftretenswahrscheinlichkeit des Fehlers durch das neue Grenzintervall eine unerwünschte Risikobewertung ergab. Daher musste für diese Instandhaltungsmaßnahme als Auflage für die Zulässigkeit der Änderung eine zusätzliche Prüfung im Rahmen der betriebsnahen Instandhaltung definiert werden.

7. Ausblick

Das vorgestellte FMEA-Verfahren baut vorrangig auf den Fachkenntnissen der beteiligten Spezialisten auf. Zukünftig ist

eine verstärkte Verknüpfung mit den zunehmend an Bedeutung gewinnenden Condition-Monitoring-Systemen (CMS) anzustreben, womit insbesondere die Entdeckbarkeit sich anbahnender Fehler und Ausfälle erhöht werden kann. Diese Zustandsüberwachung gestattet für ausgewählte Komponenten und Subsysteme den Übergang von der fristenbasierten zur zustandsabhängigen Instandhaltung (CBM - Condition Based Maintenance).

Weil die CMS-Technik jedoch einerseits mit höheren Kosten durch die zusätzliche Sensorik und Auswertesysteme verbunden ist und andererseits nicht alle Bauteile eines komplexen Schienenfahrzeugs mittels CMS überwacht werden können, ist eine alleinige Disposition aller Instandhaltungsmaßnahmen durch Condition Monitoring in absehbarer Zeit nicht erkennbar. Das FMEA-Verfahren als teamorientierte Methode zur systemati-

schen Dokumentation und Nutzung von Expertenwissen wird daher weiterhin eine große Bedeutung bei der Instandhaltungsoptimierung besitzen. •

Summary

Using FMEA for optimizing maintenance plans for rail vehicles

DB Systemtechnik GmbH uses a special adaptation of the FMEA procedure, developed jointly with IZP Dresden mbH, for the creation and modification of their customers' maintenance plans, so that safety-related consequences can be ruled out using a comprehensible methodology. The admissibility of the specifications for each maintenance measure can be checked with the expert knowledge of the specialists involved and with the help of specified evaluation catalogs and risk classifications.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Systemtechnik GmbH, IZP Dresden mbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Für Ihre Werbeplanung – die kommenden Ausgaben im Überblick



THEMEN

6/2022

7+8/2022

- Neue Services und Technologien für Stadt und Region
- Bahnverkehr im Großraum Frankfurt und im Land Hessen
- Kombiniertes Verkehr
- Betrieb von Regionalbahnen
- Mit ETR-Austria 2/2022

Erscheinungstermin:	14.06.2022
Anzeigenschluss:	10.05.2022
Druckunterlagenschluss:	18.05.2022

- Fokus Europa: Planen, Bauen und Instandhalten von Bahninfrastruktur
- Konstruktiver Ingenieurbau: Brücken, Tunnel
- Ausbau von Knoten
- Nachtzüge
- Fernverkehrsfahrzeuge

Erscheinungstermin:	10.08.2022
Anzeigenschluss:	11.07.2022
Druckunterlagenschluss:	19.07.2022



Tim Feindt • 040/23 714-220 • tim.feindt@dvvmedia.com

