



Qualitätsmanagement in der Bosch-Gruppe

14. Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse **FMEA**



BOSCH
Technik fürs Leben



Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	3
1.1.	Ziele	3
1.2.	Geschichte	3
1.3.	Nutzen	3
1.4.	Erfolgsfaktoren	4
1.5.	Juristische Aspekte der FMEA	5
2.	Grundlagen	6
2.1.	Produkt-FMEA	6
2.2.	Prozess-FMEA	6
2.3.	Anlass und zeitliche Einbindung der FMEA	6
2.4.	FMEA-Team	7
2.5.	FMEA-Arbeitsplan	8
2.6.	Systematische Vorbereitung	9
2.6.1.	Aufgabendefinition	9
2.6.2.	Vorbereitung einer FMEA-Sitzung	11
2.6.3.	Besondere Merkmale	12
2.6.4.	Priorisierung des Betrachtungsumfangs	12
2.7.	Zusammenarbeit mit Externen	12
2.7.1.	FMEA gemeinsam mit Kunden	13
2.7.2.	FMEA-Präsentation für den Kunden	13
2.7.3.	Zusammenarbeit mit Lieferanten	13
2.7.4.	Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern	14
3.	FMEA Erstellung und Aktualisierung	15
3.1.	Strukturanalyse	15
3.1.1.	Struktur der Produkt FMEA	15
3.1.2.	Struktur der Prozess FMEA	16
3.2.	Funktionsanalyse	18
3.2.1.	Anforderungen	18
3.2.2.	Funktionen	19
3.2.3.	Funktionsnetz	23
3.3.	Fehleranalyse	25
3.3.1.	Fehler/Fehlfunktionen	25
3.3.2.	Fehlerfolgen und Fehlerursachen	27
3.4.	Maßnahmenanalyse	29
3.4.1.	Bedeutung (B)	29
3.4.2.	Auftretenswahrscheinlichkeit (A)	29
3.4.3.	Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)	30
3.4.4.	Risikobewertung	33

2020-04-06 - SOCOS



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

3.5.	Optimierung	34
3.5.1.	Kriterien für die Festlegung von Maßnahmen	34
3.5.2.	Auswahl der Maßnahmen	34
3.5.3.	Entscheidung über umzusetzende Maßnahmen	35
3.6.	Dokumentation und Freigabe	35
4.	Besondere Anwendungen	36
4.1.	FMEA für Kundenbetrieb	36
4.2.	Produkt-FMEA und Diagnose	36
4.3.	FMEA und DRBFM	36
5.	FMEA Software	38
6.	Literaturhinweise	39
7.	Anhang	40



1. Einführung

1.1. Ziele

Die FMEA (englisch Failure Mode und Effects Analysis) ist eine analytische Methode des präventiven Qualitätsmanagements in der Produkt- und Prozessentwicklung.

Sie dient dazu, rechtzeitig Risiken zu ermitteln, zu bewerten und geeignete Maßnahmen zur Risikominimierung vorzuschlagen und umzusetzen mit den Zielen, Produkte bzw. Prozesse zu verbessern und Fehlerkosten zu vermeiden (Rückrufaktionen, Ausbeute).

Die FMEA wird mit dem Bewusstsein angewandt, dass systematische Betrachtungen hinsichtlich potentieller Fehler und deren Dokumentation dabei helfen, Fehler zu vermeiden [7]. Der frühzeitige und damit präventive Einsatz der FMEA hilft, fehlerfreie Erzeugnisse in den Markt zu bringen und unterstützt so die langfristige Sicherung des Unternehmenserfolgs.

Die FMEA ist eine international anerkannte Methode zur qualitativen Risikoanalyse [1], [2], [6]. Sie ist bei Bosch im Produktentstehungsprozess verankert und wird zur Optimierung von Produkten und Prozessen eingesetzt. Forderungen zur Risikoanalyse sind unter anderem in ISO 9001 und ISO/TS 16949 [15] beschrieben.

In dieser Schrift wird die Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) als Methode des Qualitätsmanagements zur Risikoanalyse beschrieben.

Zielsetzung ist eine Methodenbeschreibung (Leitfaden) zur einheitlichen Vorgehensweise der FMEA-Erstellung bei Bosch [3], welche die verschiedenen Kundenforderungen zur FMEA-Erstellung (u.a. DIN EN 60812, VDA Band 4 [2] bzw. AIAG [1]) weitgehend berücksichtigt.

1.2. Geschichte

Die FMEA hat eine über 60-jährige Entwicklungsgeschichte. Folgende Meilensteine sind für die Methode wesentlich:

- 1949 Erstbeschreibung der Methode für das US-Militär (MIL-P-1629)
- 1955 Verbreitung der "Analyse Potentieller Probleme (APP)" durch Kepner-Tregoe
- 1963 Entwicklung und Anwendung durch die NASA (Apollo-Projekt)
- 1965 Verbreitung in der Luft- und Raumfahrttechnik, Lebensmittelindustrie, Kerntechnik
- 1977 Beginn der Anwendung in der Automobilindustrie
- 1980 Standardisierung in Deutschland (DIN 25448)
- 1986 Standardisierung für deutsche Automobilhersteller und -zulieferer (VDA-Band 4)
- 1993 Vereinheitlichung der FMEA-Richtlinien von Chrysler, Ford und GM („FMEA-Referenzhandbuch“) und Veröffentlichung des US-amerikanischen Standards SAEJ1739
- 1996 Beschreibung einer verbesserten Systematik durch den VDA
- 2001 Internationale Normierung (IEC 60812)
- 2006 3. Ausgabe VDA Band 4 „Produkt- und Prozess-FMEA“
- 2008 4. Ausgabe „FMEA-Referenzhandbuch“ (AIAG)

1.3. Nutzen

Die FMEA ist eine Methode, um Risiken durch Einzelfehler (siehe auch Kap. 3.3) zu analysieren. Dabei werden die einzelnen Risiken priorisiert, um Schwerpunkte zu erkennen und geeignete Maßnahmen zur Fehlervermeidung festzulegen.

Die FMEA ist entwicklungs-/fertigungsplanungsbegleitend zu einem möglichst frühen Zeitpunkt zu erstellen, um den größten Nutzen zu erzielen. Wichtig ist, dass die Ergebnisse rechtzeitig in den Produktentstehungsprozess (PEP) einfließen können und damit unnötige Rekursionen vermieden werden.



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Die FMEA wird in Teamarbeit durch ein interdisziplinäres Team erstellt.

Vorteile der FMEA sind z.B.:

- Mögliche Fehler in Produkten und Prozessen werden vermieden.
- Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten und Prozessen werden gesteigert [7] [16].
- Das Erreichen eines robusten Designs und stabiler und fähiger Prozesse wird unterstützt.
- Nachträgliche Produktänderungen werden minimiert und damit Kosten reduziert.
- Interne und externe Fehlerkosten werden reduziert.
- Entlastungsnachweis im Produkthaftungsfall wird erbracht.
- Störungen bei Serienanläufen werden vermieden.
- Die Kommunikation in der Kunden-/Lieferantenkette wird optimiert.
- Es wird eine Wissensbasis im Unternehmen aufgebaut.
- Es erfolgt ein frühzeitiger Informationsabgleich der Projektbeteiligten aus allen Bereichen (Produkt- und Prozessexperten, einschließlich der verantwortlichen Vorgesetzten).
- Das Systemverständnis der Beteiligten wird verbessert.

Bei der Anwendung der FMEA sind die Grenzen der Methode zu berücksichtigen:

- Die FMEA ist eine Methode zur Analyse von Einzelfehlern (keine Betrachtung von Fehlerkombinationen).
- Die FMEA ist eine qualitative und keine quantitative Methode. Die Ergebnisse der Risikobewertung sind relative Einschätzungen und nicht als absolute Maßzahl zu sehen, daher sind Bewertungen verschiedener FMEA nicht miteinander vergleichbar.
- Quantitative Aussagen zum Ausfallverhalten von Produkten sind nicht möglich.

Für die Betrachtung von Fehlerkombinationen und quantitative Aussagen zum Ausfallverhalten von Produkten ist die Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis, FTA) geeignet [6].

1.4. Erfolgsfaktoren

Folgende Erfolgsfaktoren sind für die Qualität der FMEA entscheidend:

- Ziel und Betrachtungsumfang der FMEA müssen definiert sein (Contracting),
- Teamgröße und -zusammensetzung,
- Teamfähigkeit der Teilnehmer,
- FMEA-Ressourcen (Personal, Infrastruktur) müssen im Projekt geplant und vorhanden sein,
- Kenntnis der FMEA-Methode,
- Qualifikation des Moderators,
- Entwicklungsbegleitende Durchführung, so dass Erkenntnisse genutzt und Verbesserungen frühzeitig umgesetzt werden können,
- Projektunabhängige Moderatoren.

Voraussetzung für eine effektive Durchführung ist das Vorliegen

- von vollständigen Anforderungen und Funktionen,
- eines Systemkonzepts und dessen geeigneter Strukturierung nach PE-Grundsätzen in Komponenten, Baugruppen, Designelementen und deren Schnittstellen.



Das Management ist für die Bereitstellung der notwendigen Ressourcen verantwortlich, damit die FMEA rechtzeitig und erfolgreich durchgeführt werden kann. Während der FMEA Erstellung unterstützt das Management aktiv durch Teilnahme an Sitzungen und Review der Ergebnisse.

1.5. Juristische Aspekte der FMEA

Die fachgerechte Durchführung einer FMEA und die ordnungsgemäße Umsetzung ihrer Ergebnisse gehören zu den Verkehrssicherungspflichten jedes Herstellers von Erzeugnissen der Automobilindustrie. Die Verletzung einer solchen Verkehrssicherungspflicht kann eine zivilrechtliche Verantwortung (in Fällen der Produkthaftung) des Herstellers und bei persönlichem Verschulden sogar eine strafrechtliche Verantwortung (in Fällen von fahrlässiger Körperverletzung/Tötung) der verantwortlichen Mitarbeiter auslösen.

Für jedes Bosch-Erzeugnis ist eine FMEA nachzuweisen, die auch die spezifischen Risiken abbildet. Bei der Analyse sind die Einsatzbedingungen des Produkts in der Nutzungsphase, insbesondere mit Hinblick auf Sicherheitsrisiken sowie auf einen erwartungsgemäßen Fehlgebrauch, zu berücksichtigen. Wenn im Rahmen der Freigabe eines neuen Erzeugnisses oder einer Erzeugnis-/Verfahrensänderung auf eine vorhandene FMEA verwiesen wird, muss dies nachvollziehbar schriftlich dokumentiert werden.

Bei der Durchführung einer FMEA ist aus juristischer Sicht folgendes zu beachten:

Die FMEA muss

- **klar sein**, d.h. die Beschreibung möglicher Fehler, der als angemessen beurteilten Maßnahmen sowie der für die Durchführung dieser Maßnahmen Verantwortlichen muss unmissverständlich sein. Dabei sind technisch präzise Formulierungen zu verwenden, die es einem Fachmann erlauben, Fehler und mögliche Folgen abzuschätzen. Dehbare oder gar emotional besetzte Begriffe (gefährlich, untragbar, unverantwortlich, etc.) sind unbedingt zu vermeiden.
- **wahr sein**, d.h. mögliche Fehler dürfen nicht verharmlost werden, auch wenn dies im Einzelfall unangenehm sein kann (Nachentwicklung, Lieferrückstand, etc.).
- **vollständig sein**, d.h. erkannte mögliche Fehler dürfen nicht unterschlagen werden. Auch die Sorge, über die fachgerecht erstellte FMEA zuviel Know-how preiszugeben, darf nicht zu einer eingeschränkten Darstellung führen. Die Vollständigkeit bezieht sich auf die Gesamtheit des zu analysierenden Produktes/ Prozesses (Systemelemente, Funktionen), der Detaillierungsgrad in der Tiefe ist abhängig vom Risiko. Hinsichtlich der Weitergabe an Kunden ist die C/MSA Zentralanweisung R05 [4] zu beachten.

Alle in der FMEA angesprochenen Fehlermöglichkeiten müssen abgearbeitet werden, d.h. es muss nachvollziehbar dokumentiert werden, entweder dass Maßnahmen zur Senkung des Risikos unterbleiben oder welche Maßnahmen wer wann durchgeführt hat.

Neue technische Entwicklungen, neue Anforderungen oder die Einführung neuer Erzeugnisse können dazu führen, dass trotz nicht veränderter eigener Erzeugnisse erneut eine FMEA durchgeführt werden muss.

Details siehe [14] Juristische Aspekte der FMEA.



2. Grundlagen

Bei der Anwendung der FMEA wird zwischen Produkt- und Prozess-FMEA unterschieden.

Mit der Produkt- und der Prozess-FMEA werden alle Begriffe der FMEA abgedeckt, wie z. B. System-, Schnittstellen-, Konstruktions-, Fertigungs-, Montage-, Logistik-, Maschinen-FMEA.

Die FMEA ist universell auch für nicht technische Prozesse anwendbar.

2.1. Produkt-FMEA

Die Produkt-FMEA analysiert die Auslegung von Produkten, Produktbestandteilen und deren Schnittstellen hinsichtlich ihrer Qualität über den gesamten Lebenszyklus des Produktes (Produktion, Inbetriebnahme, Benutzung, Wartung, bis zur Entsorgung).

2.2. Prozess-FMEA

Die Prozess-FMEA analysiert die Auslegung von Prozessen vom Wareneingang bis zur Ablieferung an den Kunden hinsichtlich der Qualität.

2.3. Anlass und zeitliche Einbindung der FMEA

Die FMEA umfasst:

- bei Neuerstellung das gesamte Produkt und/oder den gesamten Herstellprozess,
- bei Varianten oder Änderungen den Teil vom Produkt und/oder Produktionsprozess, den die Varianten oder Änderung betreffen. Für den nicht geänderten Teil wird auf eine bestehende FMEA verwiesen, die Wechselwirkungen sind zu betrachten.

Die FMEA wird zum **frühestmöglichen Zeitpunkt** im Team erstellt. Die FMEA ist in der Produkt- und Prozessentwicklung projektbegleitend durchzuführen. Die Durchführung der FMEA wird in Projektterminplänen festgelegt.

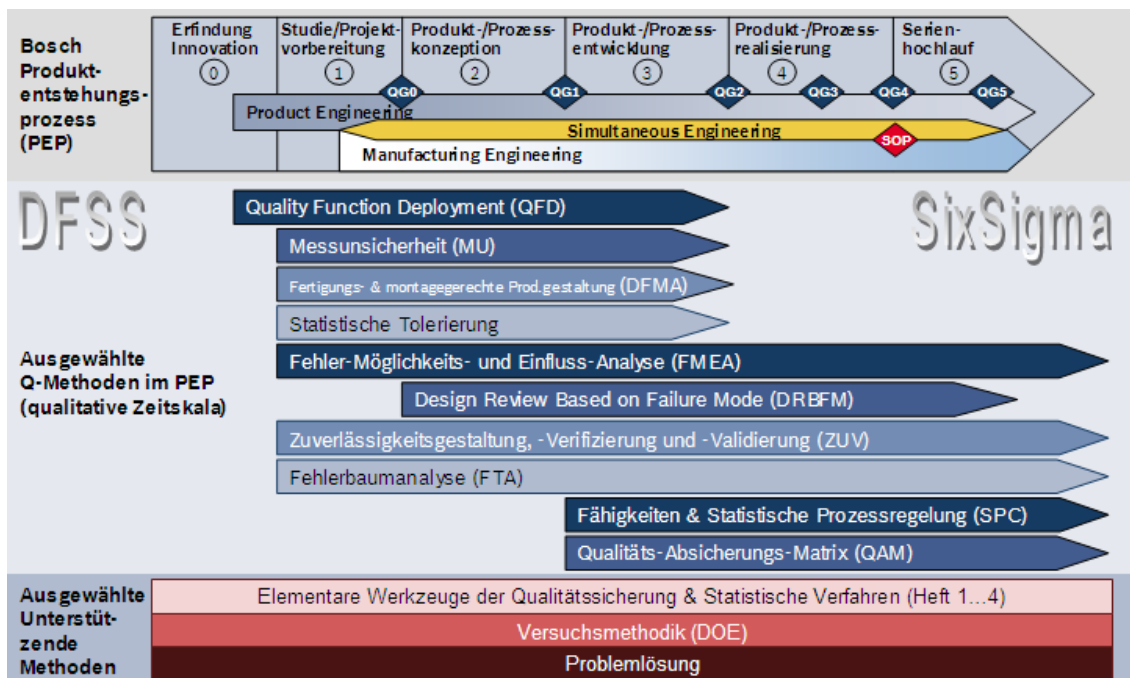


Abbildung 1: Einbindung der FMEA in den Produktentstehungsprozess

Der Stand der FMEA-Bearbeitung wird in Quality Gates geprüft und bewertet.



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

FMEA müssen bis zum Erzeugnisverbot aktualisiert werden, wenn einer der folgenden Punkte zutrifft:

- Geänderte Anforderungen oder Änderungen an Produkten oder Prozessen,
- geänderte Einsatzbedingungen,
- geänderte Forderungen seitens Gesetz oder Kunde,
- Werks-, 0-km- oder Feld-Erfahrungen (z.B. interne/externe Beanstandungen),
- Änderungen der Gefährdungsanalyse (ISO26262).

Nach Aktualisierung wird eine neue FMEA-Ausgabe erstellt und freigegeben.

2.4. FMEA-Team

Interdisziplinäre Arbeitsgruppen, bestehend aus Fachleuten der verantwortlichen Funktionsbereiche, erstellen mit Unterstützung des Methodenspezialisten (Moderator) die FMEA. Für eine effiziente FMEA-Durchführung wird ein Kernteam mit 3 bis 5 Teilnehmern gebildet, das für die durchgängige Bearbeitung der FMEA sorgt. Die Teilnehmer des Kernteams stammen aus verschiedenen Funktionsbereichen (siehe Abbildung 2). Bei Bedarf sind weitere Experten einzubeziehen. Der Einsatz des Moderators stellt die systematische und effiziente Bearbeitung sicher.

Der Projektleiter ist für die Auswahl der richtigen Teilnehmer verantwortlich. Für die Mitarbeit im Team ist die Kenntnis der FMEA-Methode erforderlich.

Vorteile von interdisziplinären Arbeitsgruppen sind z.B.:

- das Wissen und die Erfahrung von Mitarbeitern verschiedener Fachbereiche wird genutzt,
- die Akzeptanz und Qualität der erstellten FMEA wird gesteigert,
- die bereichsübergreifende Kommunikation und Zusammenarbeit wird gefördert.

In der Regel wirken Teilnehmer aus folgenden Bereichen (u.U. temporär) mit:

Produkt - FMEA	Prozess - FMEA
Entwicklung	Fertigungsplanung
Applikation	Fertigungsausführung
Qualität	Logistik
Service	Anlagenplanung
Verkauf	Qualität
Fertigung	Entwicklung
Einkauf	Einkauf
Versuch	

Abbildung 2: Mögliche Teammitglieder



2.5. FMEA-Arbeitsplan

Die folgende Tabelle zeigt die einzelnen Arbeitsschritte der FMEA mit den darin behandelten Teilaufgaben.

	Input	Aktivität	Output
	Kunden-Vorgaben, externe (gesetzliche) und interne Vorgaben; Arbeitsunterlagen Grund für die Anwendung der FMEA, technisches Sachthema, vorhandene FMEA	Contracting, FMEA-Team festlegen; technischen Betrachtungsumfang festlegen Kundenforderungen klären vorhandene FMEA prüfen, relevante Inhalte übernehmen	Umfang, Ziele, Terminplan, Team, abgestimmte Kundenforderungen bestätigtes FMEA-Prüfergebnis
	Konzepte, Entwürfe, Modelle, Anforderungen, Funktionen	Konstruktionsprinzip definieren, Erzeugnisstruktur / Prozessstruktur aufbauen	Erzeugnisstruktur / Prozessstruktur (auch übergeordnetes System bis auf Fahrzeugebene)
	Quantifizierte Anforderungen und Funktionen des nächsthöheren Systemelements, Erzeugnisstruktur	Funktionen und Merkmale von Systemelementen unter Beachtung von Wechselwirkungen beschreiben und im Funktionsnetz verknüpfen	Funktionale Zusammenhänge (Funktionsnetz) mit detailliert beschriebenen Funktionen / Produktmerkmalen / Prozessmerkmalen
	Funktionale Zusammenhänge (Funktionsnetz) mit detailliert beschriebenen Funktionen / Produkt- bzw. Prozess-Merkmalen, Lessons learned	detaillierte, ggf. quantifizierte Fehlfunktionen auf Basis der Funktionen unter Beachtung der Betriebs- und Umweltbedingungen beschreiben, Fehlernetz auf Basis des Funktionsnetzes verknüpfen	potentielle Fehler, Fehlerursachen und Fehlerfolgen, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge (Fehlernetz)
	Fehlfunktionen / Fehlernetz, Erkenntnisse von Vergleichserzeugnissen, wenn vorhanden	Fehlervermeidende und fehlerentdeckende Maßnahmen (Ist-Zustand) beschreiben und bewerten	Risikobewertung des aktuellen Entwicklungsstand, Maßnahmen (Ist-Zustand)
	Risikobewertung des aktuellen Entwicklungsstand, Maßnahmen (Ist-Zustand)	Risiken sortieren, Verbesserungsmaßnahmen identifizieren, ggf. Rückwirkung auf Schritt 1 - 4 verbleibendes Risiko bewerten	weitere Verbesserungsmaßnahmen, erwartetes reduziertes Risiko
	weitere Verbesserungsmaßnahmen, erwartetes reduziertes Risiko, Informationen bzgl. Kosten, Zeit, Strategie	Entscheidung, ob die vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt werden sollen	Entscheidung, welche vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt werden
	Entscheidung, welche vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt werden	FMEA mit den umgesetzten und verworfenen Maßnahmen aktualisieren	aktualisierter FMEA-Stand
	aktualisierter FMEA-Stand	Entscheidung, ob das verbleibende Risiko akzeptiert wird	unterschriftsreife FMEA-Ausgabe
	unterschriftsreife FMEA-Ausgabe	FMEA-Ausgabe dokumentieren freigeben, z. B. im Rahmen eines FMEA-Reviews	freigegebene FMEA-Ausgabe

Zur effizienten Durchführung der FMEA können die ersten Schritte (0 – 2) in einem reduzierten Team vorbereitet werden. Die Schritte der FMEA werden nicht rein sequentiell für alle Systemelemente abgearbeitet, sie können sich im Sinne des Simultaneous Engineering überlappen. Für priorisierte Themen werden alle 5 Schritte durchlaufen, was zu einer iterativen Bearbeitung führt.



2.6. Systematische Vorbereitung

In diesem Kapitel werden vorbereitende Aufgaben und Verantwortlichkeiten definiert, welche zur erfolgreichen Durchführung einer FMEA gemäß Arbeitsplan (Kap. 2.5) erforderlich sind.

2.6.1. Aufgabendefinition

	GB-FMEA-Koordinator	Bereichs-FMEA-Koordinator (wenn festgelegt)	FMEA-Moderator	Verkauf	Projekt-/Teilprojektleiter bzw. Produkt-/Prozessverantwortlicher	Einkauf	Ansprechpartner der Arbeitsgruppe	FMEA-Arbeitsgruppe (AG)	Abteilungsleitung	Leitung von Werk, Produktbereich
Planung FMEA im Projektterminplan (Ersterstellung und Aktualisierung)		I	I	S	R	S			A	
Beauftragung FMEA-Moderator und Ansprechpartner AG		I	C	S	R	S	C		A	
Planung FMEA mit Kunden		I	S	R	C		C		A	I
Planung FMEA mit Lieferanten		I	S		C	R	S		A	I
Festlegung der FMEA-Arbeitsgruppe			C		R		C	I	C	
Abstimmung der projektspezifischen Kundenanforderung bzgl. FMEA	S	S	C	C	R		I	I		
Bereitstellen der technischen Anforderungen (Lasten-, Pflichtenheft, Bes. Merkmale)			I	C	R		C	I		
Prüfung von verwendeten Inhalten aus bestehenden FMEA			C		R			S	A	
Bereitstellung notwendiger Dokumente und Muster			I	S	C	S	R	S		
Terminabstimmung und Einladung zu den FMEA-Sitzungen			C	S	I	S	R	S		

Abbildung 3: Zuordnung von Aufgaben zu Verantwortung

Die systematische Vorbereitung reduziert den Aufwand der FMEA-Erstellung erheblich. Bei der Planung sind FMEA-spezifische Forderungen (interne oder vom Kunden) wie z.B. Bewertungskriterien oder Präsentationstermine zu berücksichtigen.



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Die Durchführung einer FMEA ist zwischen Auftraggeber und FMEA-Moderator abzustimmen. Dies kann zum Beispiel mit einer Contracting-Liste erfolgen (siehe Anhang 3).

Dabei ist auch der Einsatz anderer Methoden (z.B. DRBFM, FTA) abzustimmen. Schnittstellen zwischen den Methoden sind zu definieren. Die Einbindung von DRBFM-Ergebnissen ist im Vorfeld abzuklären.

Der Analyseumfang kann in der Produkt-FMEA z.B. mit Hilfe eines Blockschaltbildes oder eines 3D-Modells dargestellt werden. Dabei werden Analysegrenzen und die Schnittstellen identifiziert und festgelegt (siehe Abbildung 4). In der Prozess-FMEA (siehe Abbildung 5) kann z.B. ein Prozessflussplan verwendet werden.

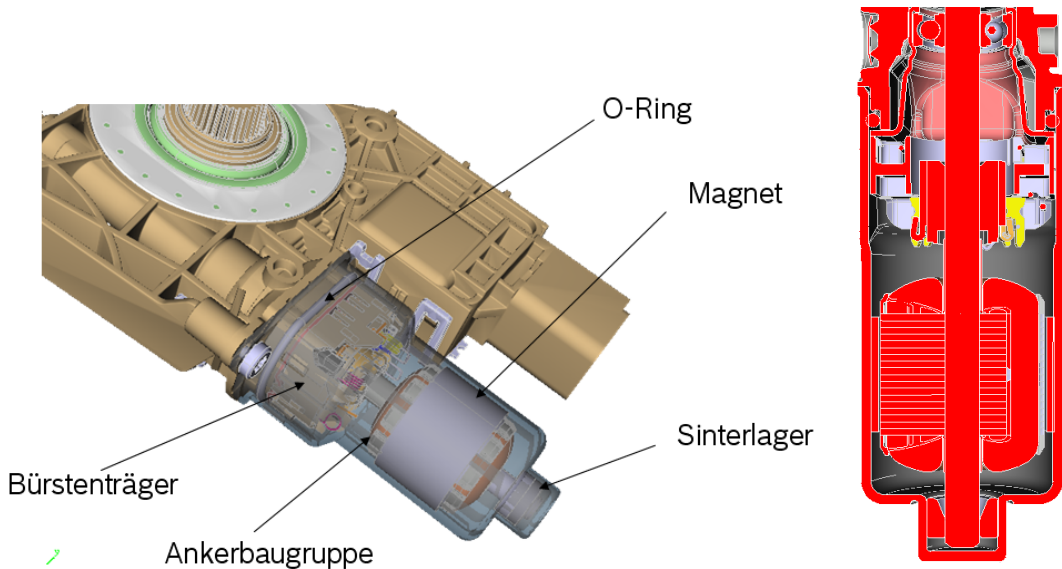


Abbildung 4: Beispiel für 3D-Modelle

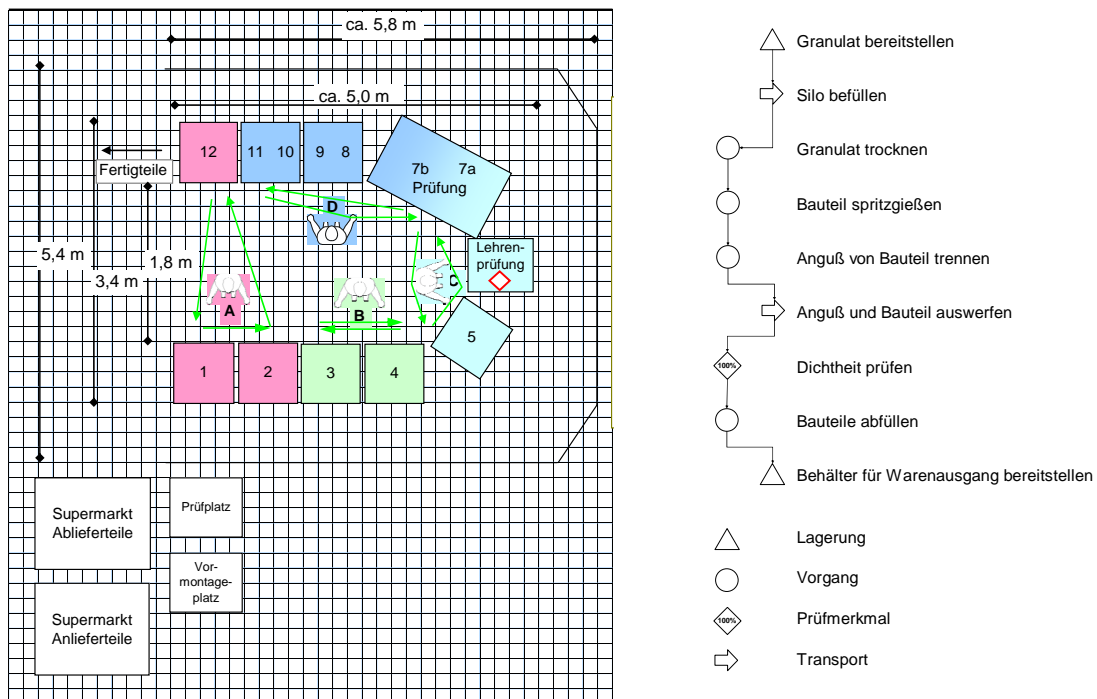


Abbildung 5: Beispiele für Prozess-Layout und Flussplan



2.6.2. Vorbereitung einer FMEA-Sitzung

Während der FMEA-Vorbereitung sind alle technischen Anforderungen an das Produkt, den Prozess bzw. den betrachteten Teilumfang detailliert zu prüfen. Diese müssen vollständig, eindeutig und quantifiziert vorliegen. Zur Erfassung der Anforderungen und Produktfunktionen dienen Methoden des Requirement Engineering wie z.B. QFD (Quality Function Deployment). Außerdem ist die Umsetzung internationaler und nationaler Normen und Richtlinien, z.B. bezüglich „Technische und Montagesauberkeit nach VDA 19/1 und /2 und ISO16232 (siehe Anlage 5 Best Practice Beispiel)", zu berücksichtigen.

Um den Aufwand zu reduzieren, sollten nachfolgende Unterlagen (soweit vorhanden) vor den FMEA-Sitzungen beschafft und während der FMEA genutzt werden. Offene Punkte sind durch den Projektleiter zu klären.

Produkt-FMEA:

- Anforderungsdokumentation, z.B. Lastenheft, Pflichtenheft, Technische Kundenunterlagen (TKU), Angebotszeichnung (AZ), Ergebnisse aus QFD, DFMA (Design for Manufacturing and Assembly), Änderungsanregungen,
- Funktionsbeschreibung,
- Strukturierung (z.B. Blockschaltbild),
- Stücklisten und Zeichnungen,
- vorhandene FMEA (Vergleichsprodukte, -prozesse usw.),
- Projektterminplan,
- abgestimmte B-Bewertungskriterien (z.B. vom Kunden),
- vom Kunden festgelegte „Besondere Merkmale“,
- Design Verification Plan (Erprobungsblatt),
- Fehlerstatistiken,
- interne Fehlerraten, 0-km- und Feldfehler-Statistiken von Vergleichserzeugnissen,
- Muster und 3D-Modelle,
- Versuchsergebnisse.

Prozess-FMEA:

- Produkt-FMEA,
- Arbeitsplan / Control Plan,
- Stücklisten und Fertigungszeichnungen,
- vorbereitete Strukturierung und Funktionsanalyse (Schritt 1 und 2),
- vorhandene FMEA (Vergleichsprozesse usw.),
- Projektterminplan,
- Fertigungshinweise,
- Maschinen- und Prozessfähigkeitsdaten,
- Prozesserprobungsergebnisse,
- Muster,
- Technische Kundenunterlagen (TKU),
- interne Fehlerraten, 0-km- und Feldfehler-Statistiken von Vergleichserzeugnissen,
- DFMA.



2.6.3. Besondere Merkmale

Besondere Merkmale sind Produktmerkmale oder Produktionsprozessparameter, die Auswirkungen z.B. auf die Sicherheit oder Einhaltung behördlicher Vorschriften, die Passform, die Funktion, die Leistung, die weitere Verarbeitung des Produktes haben können.

Sie werden bei Bosch in drei Kategorien eingeteilt:

- „S“ Sicherheitsforderung / Produktsicherheit / Sicherheitsrelevante Folgen.
- „G“ Gesetzliche und behördliche Vorgaben zur Zeit des In-Verkehr-Bringens des Produktes. Dies beinhaltet zulassungs- und zertifizierungsrelevante Themen.
- „F“ weitere wichtige Funktionen und Merkmale (Fit, Form, Function).

Hinweise

- Besondere Merkmale werden gemäß Zentralanweisung [5] ermittelt und gekennzeichnet.
- Besondere Merkmale müssen in der FMEA durch Kennzeichnung der relevanten Funktionen/Merkmale dokumentiert werden.

2.6.4. Priorisierung des Betrachtungsumfangs

Die Reihenfolge der Bearbeitung und die Analysetiefe können durch eine Priorisierung gesteuert werden. Diese Priorisierung kann Bauteil- oder Funktionsorientiert erfolgen. Für die priorisierten Umfänge wird die Risikoanalyse vollständig (Schritt 1 – 5) durchgeführt, anschließend werden die verbleibenden Umfänge analysiert (iteratives Vorgehen).

Die Priorisierung der FMEA kann mit der Schwerpunktmatrix anhand der Kriterien „Neuentwicklung“ und „nicht vollständig verstandene Wirkzusammenhänge“ erfolgen.

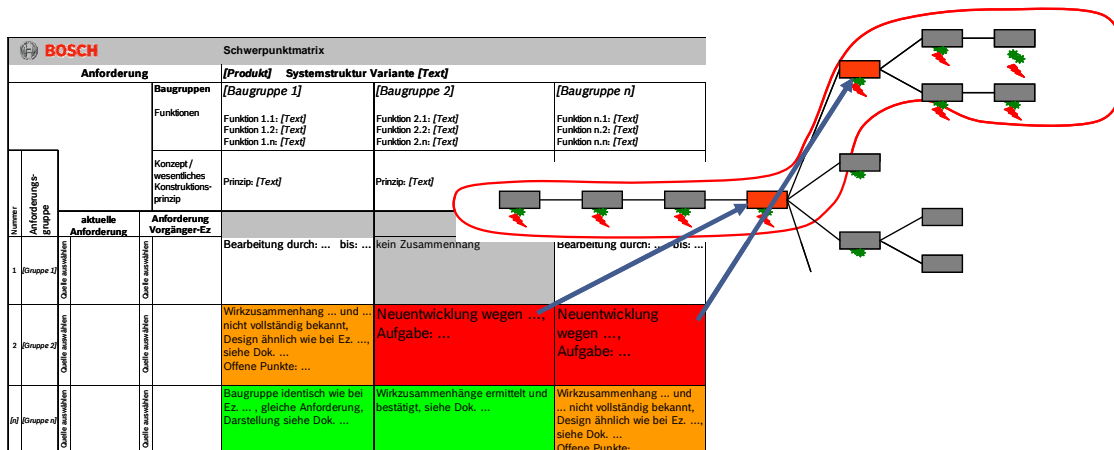


Abbildung 6: Priorisierung des Betrachtungsumfangs

2.7. Zusammenarbeit mit Externen

Bei Forderungen nach Einsicht, Überlassung oder gemeinsamer Erstellung einer FMEA gilt im Automotive Bereich die C/MSA Zentralanweisung R05 „Kundenkommunikation von FMEA/FTA/FMEDA/DRBFM/Control Plan/QAM/ISO26262 Safety Case“ [4] und die Bosch-Richtlinie „Weitergabe schutzbedürftiger Informationen an Außenstehende“ [11].



2.7.1. FMEA gemeinsam mit Kunden

Eine gemeinsam mit Kunden erstellte Produkt-FMEA untersucht das funktionsgerechte Zusammenwirken der Ein- und Ausgabefunktionen zwischen Bosch- und Kundenkomponenten [8].

Das FMEA-Team kann durch FMEA-Moderatoren von Bosch oder vom Kunden geleitet werden. Eine gute Vorbereitung und Strukturierung einer gemeinsam zu erstellenden FMEA ist anzustreben. Zu Beginn sind u.a. gemeinsam anerkannte Bewertungstabellen und Besondere Merkmale [5] zu vereinbaren.

Die Erstellung einer Produkt-FMEA (System und/oder Schnittstellen) gemeinsam mit Kunden ist von der zuständigen Leitung [4] zu genehmigen.

Produkt-FMEA: Auszüge vom Kunden

Existiert keine gemeinsam erstellte Produkt-FMEA (System- und/oder Schnittstellen), beschafft der Verkauf rechtzeitig Auszüge aus der FMEA des Kunden und leitet sie an den Komponenten- / Produkt-Verantwortlichen weiter. Liegen keine FMEA des Kunden vor, ist es sinnvoll, die eigenen Entwürfe mit dem Kunden [8] abzustimmen.

2.7.2. FMEA-Präsentation für den Kunden

FMEA-Präsentationen für Kunden werden vom Verkauf organisiert. Die Präsentation erfolgt durch die verantwortliche Abteilung. Bei einer Produkt-FMEA erfolgt dies üblicherweise durch die Entwicklung, bei einer Prozess-FMEA durch die Fertigungsvorbereitung. Das Qualitätsmanagement ist in den Informationsfluss einzubeziehen.

Bei der Erstpräsentation einer FMEA sollte das generelle Bosch-Vorgehen bei der FMEA-Erstellung und die verwendeten Bewertungstabellen erläutert werden. Auf Kundenwunsch kann die Festlegung und Kennzeichnung von Besonderen Merkmalen [5] dargestellt werden.

Aktualisierungsstände bzw. kleinere Änderungen seit der Erstpräsentation können dem Kunden durch den Projektleiter oder den Verkauf z.B. im Rahmen von allgemeinen Entwicklungsgesprächen vorgestellt werden.

Die FMEA-Auswertungen (z.B. Differenzanalyse, Häufigkeitsanalyse) können dem Kunden unter Beachtung der Zentralanweisung R05 auf Wunsch übergeben werden.

2.7.3. Zusammenarbeit mit Lieferanten

Basis für die Zusammenarbeit mit Lieferanten bildet die Bosch-Richtlinie „Einkauf“ [13]. Unsere Lieferanten sind auf striktes Einhalten der vereinbarten Produktqualität verpflichtet. Die Anwendung des Prinzips „Fehlervermeidung statt Fehlerentdeckung“ sowie der Einsatz eines wirksamen Qualitätsmanagementsystems beim Lieferanten sind Grundlage der geschäftlichen Zusammenarbeit [9].

Um die Qualität der Zulieferteile zu gewährleisten, fordert Bosch u. a. von seinen Lieferanten, dass sie FMEA erstellen und präsentieren [9]. Hierzu können dem Lieferanten die für ihn relevanten Auszüge aus der Bosch-FMEA überlassen werden, um die Durchgängigkeit, insbesondere der Information zur Fehlerfolgenkette und der Bewertung von der Produkt-FMEA bis zur Prozess-FMEA, sicherzustellen. Unterliegen überlassene Bosch-FMEA-Auszüge einem Know-how-Schutz, so ist mit dem Lieferanten eine Vertraulichkeits-/Vorbehaltserklärung zu vereinbaren [4].

Die Bewertungstabellen und der Umgang mit Besonderen Merkmalen [5] sind mit dem Lieferanten abzustimmen.



Vorgehen bei der Produkt-FMEA

Nach der Entwurfserstellung durch den Lieferanten verlangt die Bosch-Entwicklungsabteilung vom Lieferer Einsicht in die Produkt-FMEA durch Bosch-Mitarbeiter (Entwicklung, Einkauf, Qualitätsmanagement) und Durchsprache mit dem Lieferanten. Die Einsicht und Durchsprache der Produkt-FMEA Maschine wird entsprechend von der Bosch Fertigungsplanung bzw. MAE-Projektierung und dem MAE-Einkauf mit dem Lieferanten durchgeführt.

Vorgehen bei der Prozess-FMEA

Nach der Planung des Fertigungsprozesses durch den Lieferanten verlangt der Bosch-Einkauf vom Lieferanten Einsicht in die Prozess-FMEA durch Bosch-Mitarbeiter (Fertigung, Qualitätsmanagement, Einkauf) und Durchsprache mit dem Lieferanten.

Angaben zu einer FMEA durch Bosch-Auftraggeber

- Erzeugnis-, Baugruppen-, Teile-Zeichnungen und Sachnummern,
- Bosch-Spezifikation und Liste der Besonderen Merkmale,
- Vorgaben/Hinweise zur anwendungsspezifischen Bedeutung von Fehlerfolgen und deren Einstufung (ggf. Auszüge aus Bosch-FMEA),
- Terminvorgabe für FMEA-Erstellung und –Durchsprache.

Kriterien für eine FMEA-Durchsprache beim Lieferanten

- Siehe Beispiel einer Checkliste zur Beurteilung im Anhang.

2.7.4. Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern

Externe Dienstleister (FMEA-Moderatoren, Übersetzungsbüros) sind Lieferanten, welche die Qualität eines Produktes direkt oder indirekt beeinflussen. Beim Einsatz externer Dienstleister ist daher besonderes Augenmerk auf die Auswahl zu richten. Basis bildet die Bosch-Richtlinie "Entscheidungen über Eigenleistung oder Fremdbezug" [12] und die Bosch-Richtlinie „Weitergabe schutzbedürftiger Informationen an Außenstehende“ [11].

Entscheidungen über Eigenleistung oder Fremdbezug sind in besonderem Maße wettbewerbsentscheidend sowie erfolgsbestimmend. Sie beeinflussen wesentlich Weiterentwicklung und Schutz unseres Know-hows.

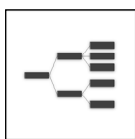
Grundsätzlich dürfen FMEA-Moderationen und -Übersetzungen nur von externen Dienstleistern durchgeführt werden, mit denen entsprechende Schutzvereinbarungen getroffen wurden.

Es wird empfohlen, Übersetzungen in der gleichen IQ-RM-Datei wie die Original-FMEA zu dokumentieren. Änderungen/ Aktualisierungen sind somit leicht erkennbar und nachzupflegen.



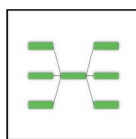
3. FMEA Erstellung und Aktualisierung

1. Schritt Strukturanalyse



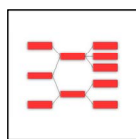
- **Blockschaltbild** bzw. **Prozessablaufdiagramm** erstellen
- **Systemelemente** identifizieren und **Systemstruktur** erstellen
- **Betrachtungsumfang** festlegen

2. Schritt Funktionsanalyse



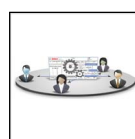
- **Funktionen und Eigenschaften** der Systemelemente beschreiben
- **Betrachtungsumfang** priorisieren
- Funktionen und Eigenschaften verknüpfen
=> **Funktionsnetz**

3. Schritt Fehleranalyse



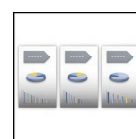
- **Mögliche Fehler** beschreiben
- **Fehlerfolgen und Fehlerursachen** ermitteln/verknüpfen
=> **Fehlernetz**

4. Schritt Maßnahmenanalyse



- **Bedeutung (B)** ermitteln
- Ist-Zustand **Fehlervermeidung** und **Fehlerentdeckung** ermitteln
- Ist-Zustand der **Auftretens-** und **Entdeckungswahrscheinlichkeit (A und E)** bewerten
- **Risikoprioritätszahl (RPZ = B x A x E)** berechnen

5. Schritt Optimierung



- **Priorisierte Risiken** analysieren
- Risikomindernde **Verbesserungsmaßnahmen** definieren
- **Verantwortliche und Termine** benennen
- **Verbesserungsmaßnahmen** einführen und Wirksamkeit bewerten

Abbildung 7: Die 5 Schritte zur Erstellung der FMEA

3.1. Strukturanalyse

Die Strukturanalyse dient dazu die Produkt- bzw. Prozessbestandteile inklusive der Systemgrenzen vollständig und übersichtlich darzustellen.

Die Struktur einer Produkt-/Prozess-FMEA besteht aus einzelnen Systemelementen. Sie beschreiben die strukturellen Zusammenhänge in einem Gesamtsystem und werden in einer Baumstruktur dargestellt. Das erste Element der Baumstruktur stellt die oberste Ebene des Betrachtungsumfangs (Produkt/Prozess) dar, auf der die Funktionen des betrachteten Systems und die Fehlerfolgen für den Kunden beschrieben und bewertet werden. Die oberste Ebene ist abhängig vom Wissensstand des Teams über den Verwendungszweck des Produkts.

Je nach Betrachtungsumfang kann die Detaillierung der Baumstruktur variieren.

3.1.1. Struktur der Produkt FMEA

Die Systemelemente der Struktur einer Produkt FMEA bestehen abhängig vom zu analysierenden Betrachtungsumfang aus einem System, Teilsystemen, Komponenten, Baugruppen bis hin zu Einzelteilen und ihrer konstruktiven Detaillierung. Aus organisatorischen Gründen oder aus Gründen der Übersichtlichkeit können komplexe Strukturen auf mehrere Strukturen (Arbeitspakete) aufgeteilt und separat analysiert werden.

Quellen sind u.a. :

- Quality Function Deployment,
- Blockschaltbild System/Software,
- Liste des Lieferumfangs,
- Stücklisten.

Abbildung 7 zeigt eine mögliche Gesamtstruktur für die Produkt-FMEA vom Fahrzeug bis zur konstruktiven Auslegung der Einzelteile.



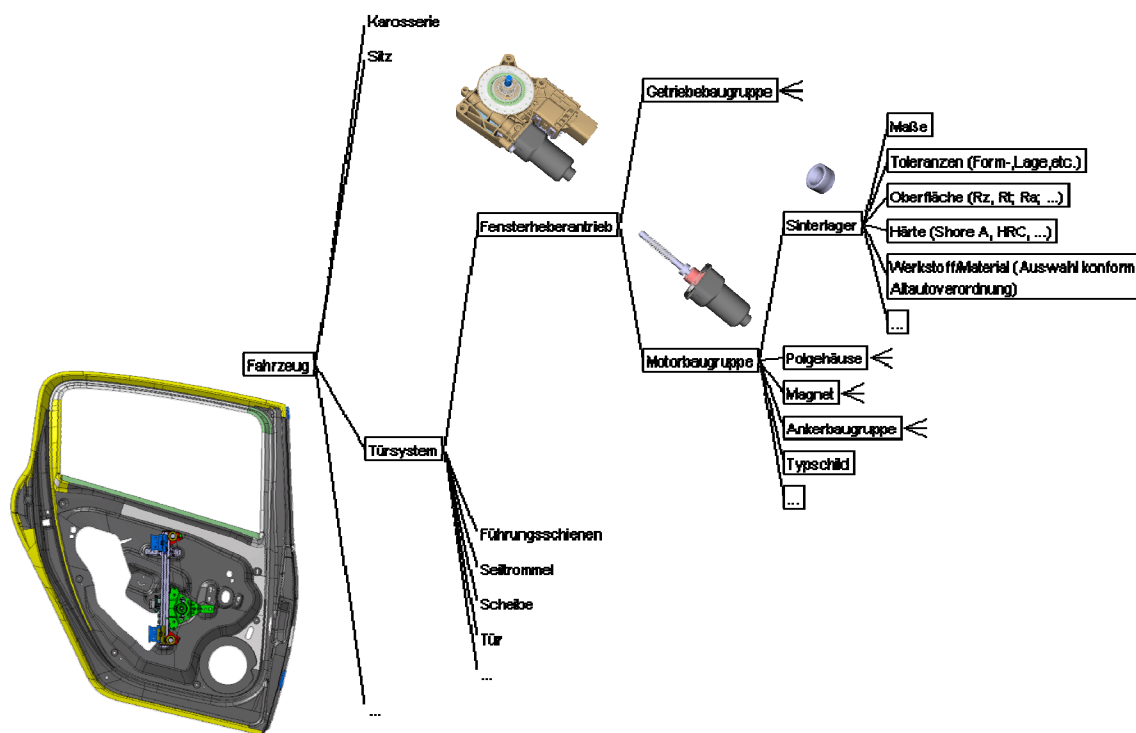


Abbildung 8: Gesamtstruktur Produkt

3.1.2. Struktur der Prozess FMEA

Die Systemelemente der Struktur einer Prozess-FMEA bestehen je nach zu analysierendem Betrachtungsumfang aus dem gesamten Produktionsprozess oder einzelnen Prozessstationen/Teilprozessen und können auf der untersten Ebene den Kategorien 5M (Mensch, Maschine, Methode, Material, Milieu/Mitwelt) zugeordnet werden. Aus organisatorischen Gründen oder aus Gründen der Übersichtlichkeit können komplexe Strukturen auf mehrere Strukturen (Arbeitspakete) aufgeteilt und separat analysiert werden.

Bezugsdokumente sind u.a. :

- Linien-Layoutplan,
- Control Plan (CP)/ Prozessflussplan,
- Materialflusspläne.

Die Prozessstruktur bildet die Prozessschritte, z.B. die Montagestationen nach dem Linien-Layout, ab. Die Prozess-FMEA baut auf der Produkt-FMEA auf, d.h. die in der Produkt-FMEA auf der Bauteilebene beschriebenen Informationen (Funktionen, Merkmale, Fehler usw.) werden auf die Prozess-Ebene mit den Produkt- und Prozess-Merkmalen verknüpft.

Abbildung 9 zeigt eine mögliche Gesamtstruktur für die Prozess-FMEA.



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

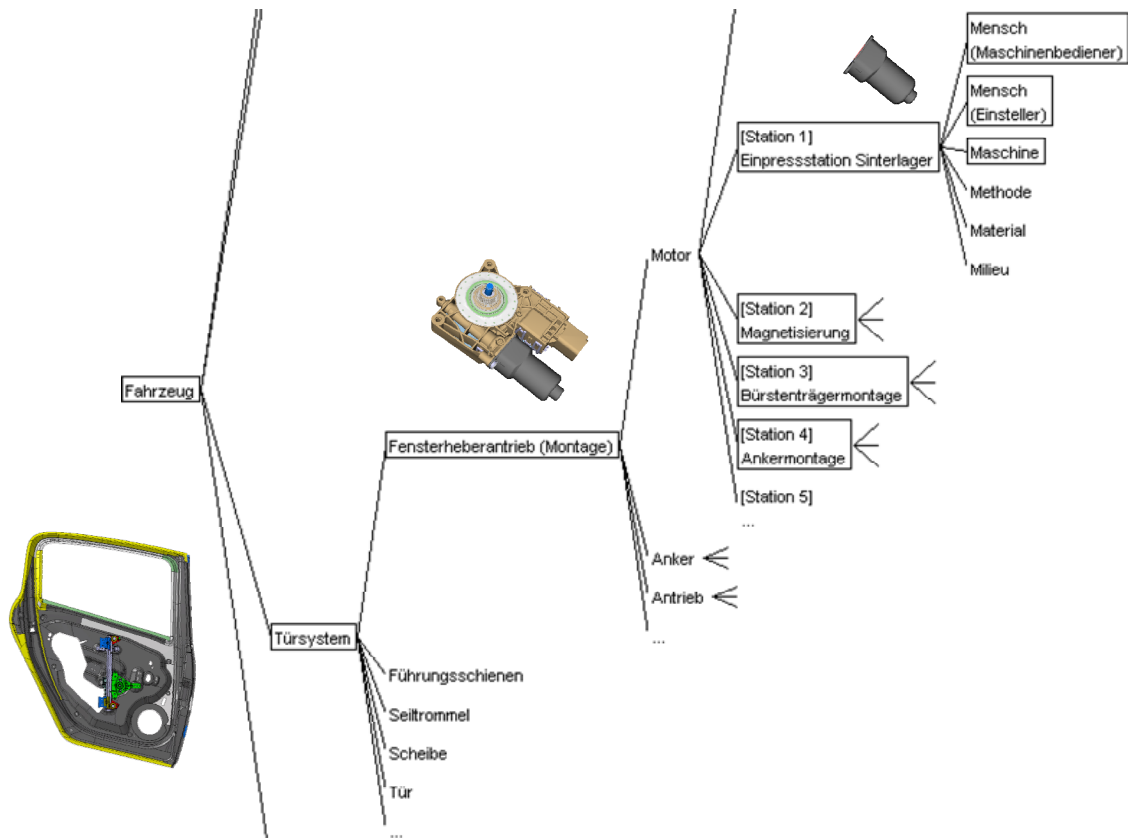


Abbildung 9: Gesamtstruktur Prozess

Abbildung 10 zeigt beispielhaft den Zusammenhang der verschiedenen Betrachtungsumfänge der Produkt- und Prozess-FMEA. Um die technische und organisatorische Komplexität zu reduzieren, kann die FMEA des gesamten Produkts/Prozesses in verschiedenen Arbeitspaketen bearbeitet werden. An den vereinbarten Schnittstellen zwischen den einzelnen Verantwortungsbereichen ist ein inhaltlicher Abgleich durchzuführen.

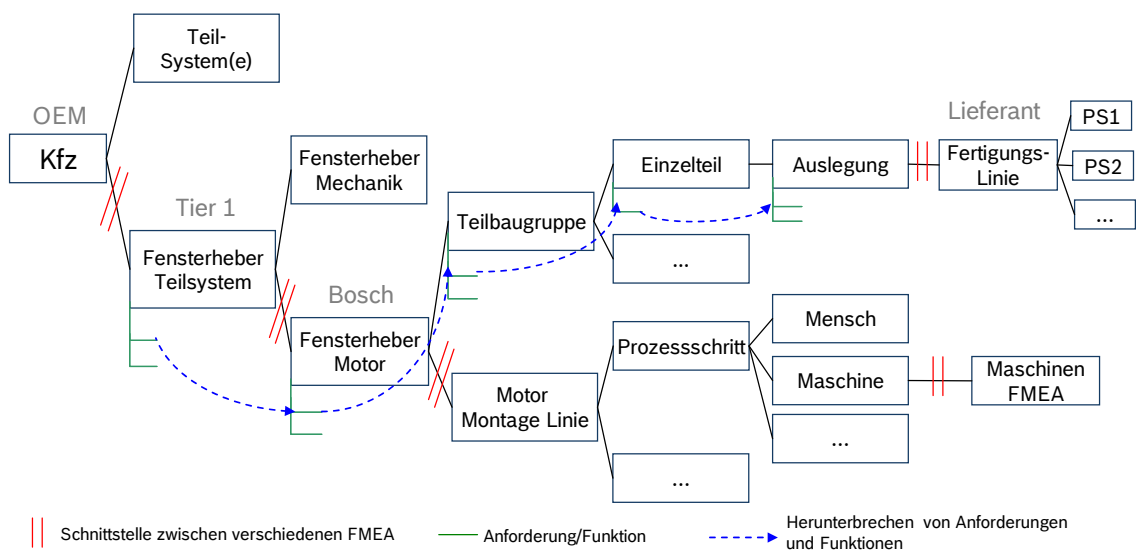


Abbildung 10: Beispielhafter Zusammenhang verschiedener FMEA und ihrer Schnittstellen



3.2. Funktionsanalyse

Im zweiten Schritt der FMEA wird die Funktionalität des Produktes / Prozesses analysiert. Voraussetzung hierfür sind vollständig vorliegende Anforderungen und eine Funktionsbeschreibung. Zur Analyse der Funktionen unter Berücksichtigung der Eingangs- und Ausgangsgrößen sind umfassende Kenntnisse über das System, das Produkt bzw. den Prozess und deren Umgebungsbedingungen, Betriebsbedingungen, sowie deren Wechselwirkungen zu anderen Systemelementen erforderlich (z.B. Temperatur, Staub, Spritzwasser, Salz, Vereisung, Schwingungen, elektrische Störungen, Beschleunigungseinflüsse, Volllast, Teillast).

Durch die Verknüpfung der Funktionen zum Funktionsnetz werden funktionale Zusammenhänge dargestellt. Dies ist die Basis für die folgende Fehleranalyse, und führt zu einem besseren Systemverständnis für alle Beteiligten.

3.2.1. Anforderungen

Anforderungen sind Erfordernisse oder Erwartungen, die vorausgesetzt werden oder verpflichtend sind. Sie beinhalten:

- gesetzliche Forderungen,
- Normen,
- Kundenvereinbarungen (z.B. QM, Erzeugnis),
- RB-Vorgaben,
- fertigungsspezifische Forderungen.

Aus den vollständig ermittelten Anforderungen werden die Funktionen abgeleitet. Dies geschieht im Requirement Engineering (z.B. mit QFD) und liefert den notwendigen Input für die Funktionsanalyse der FMEA.

Die Analyse der Anforderungen hat für die Produkt- bzw. Prozess-FMEA einen unterschiedlichen Fokus.

Produkt-FMEA: Analyse aller impliziten und expliziten Anforderungen (Kunde, Gesetz, eigene) an das Produkt inklusive genauer Spezifikation (z.B. Toleranzen) und inklusive Angabe der vorgesehenen Umgebungs-/ Betriebsbedingungen (z.B. Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, elektromagnetische Einstrahlung).

Prozess-FMEA: Analyse aller impliziten und expliziten Anforderungen (Kunde, Gesetz, eigene z.B. BPS) an den Prozess inklusive Angabe der zu erwartenden Prozessrandbedingungen (z.B. Reinraum).



	Produkt-FMEA	Prozess-FMEA
Gesetzliche Anforderungen	z.B. umweltgerechte Produkt-gestaltung, Recycle-barkeit, Sicherheit bei po-tenziellem Fehlverhalten des Bedieners, Nicht-Brennbarkeit	z.B. Einhaltung der zu benen-nenden Arbeits- und Umwelt-schutzvorschriften
Anforderungen des Kunden	ausgesprochene (z.B. aus Lastenheft) und nicht ausge-sprochene (z.B. Freiheit ver-botener Stoffe) - unter allen spezifizierten Umgebungs-bedingungen	(gemäß Lastenheft), z.B. Erfül-lung der geforderten Qualität, Herstellung des Produktes / der Produkte in Zeit x und Menge y (Ausstoß z/Stunde)
Interne Anforderun-gen	z.B. Herstellbarkeit, Prüfbar-keit, Kompatibilität mit be-stehenden anderen Erzeug-nissen, Wiederverwendbar-keit, Sauberkeit (Partikeler-zeugung, -eintrag und – verschleppung)	z.B. Herstellung des Produktes im Prozesstakt, Einhaltung der vorgesehenen Produktionskos-ten (z.B. begrenzter Aus-schuss, keine Nacharbeit), BPS-Prinzipien, Vorgaben zur Prozessqualität, Sauberkeit

Abbildung 11: Herkunft von Produkt- und Prozess-Anforderungen

Die Analyse der Anforderungen ist nicht Aufgabe der FMEA. Sie ist Eingangsvoraussetzung für die Durchführung der FMEA. Im Rahmen der FMEA wird die Vollzähligkeit und Vollständigkeit der Anforderungen und Funktionen implizit überprüft, offene Punkte gegebenenfalls ergänzt.

3.2.2. Funktionen

Ein System wird durch seine kennzeichnenden Eigenschaften beschrieben. Die Eigenschaften zerfallen in zwei Gruppen: Funktionale Merkmale (Funktionen) und Nicht-Funktionale Merkmale (Beschaffenheiten). Eigenschaften haben eine Bedeutung (Qualität) und eine Ausprägung (Quantität).

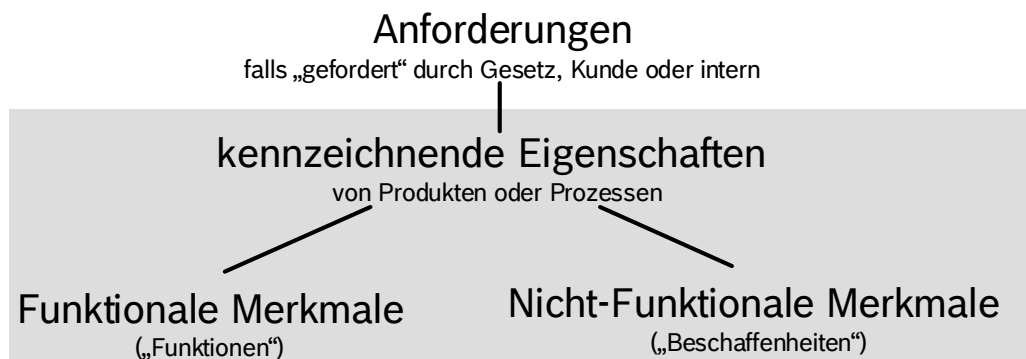


Abbildung 12: Merkmale von Produkten und Prozessen



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

In der FMEA werden sowohl funktionale Merkmale als auch nicht funktionale Merkmale analysiert.

Funktionen beschreiben den Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems/Elements mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen, Abbildung 12.

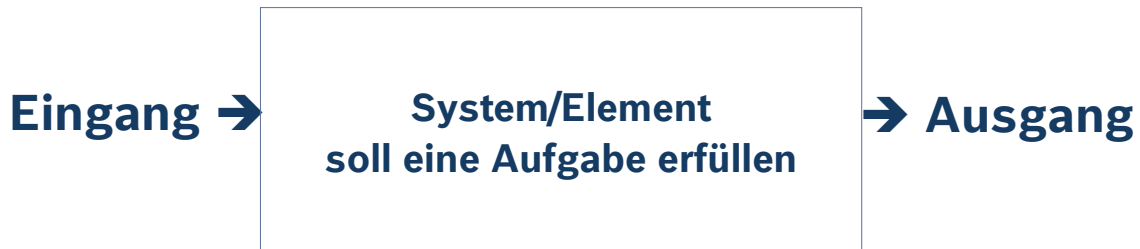


Abbildung 13: Funktionale Beschreibung eines Systems

Die Funktionsanalyse der FMEA wird auf Basis der vorliegenden Funktionsbeschreibung erstellt. Für die FMEA wird folgendes Funktionsmodell zu Grunde gelegt:

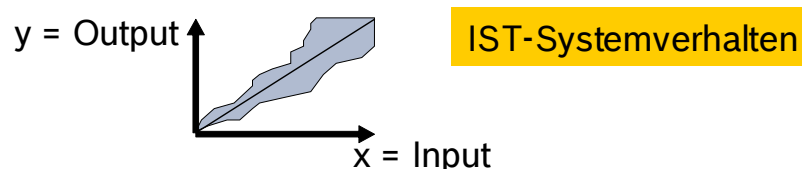
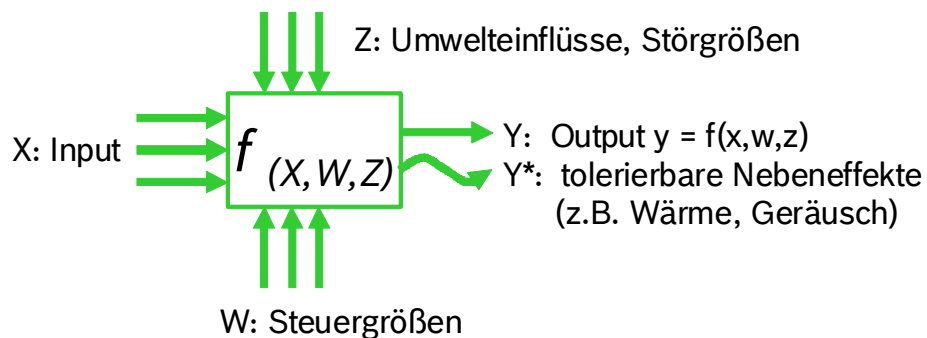


Abbildung 14: Funktionsmodell

Anhand dieses Modells können die einzelnen Funktionen mit ihren notwendigen Inputs und Outputs dargestellt und diskutiert werden. Weiterhin werden die der Funktion zugeordnete Steuergrößen dargestellt. Besonders berücksichtigt werden müssen alle Störgrößen wie z.B. Umweltbedingungen. Diese führen dazu, dass eine Funktion in der Realität häufig Abweichungen aufweist. Neben dem gewünschten Output können nicht erwünschte Nebeneffekte auftreten, die in der Betrachtung mit berücksichtigt werden müssen.

Die Produkt-FMEA erfasst alle Funktionen des betrachteten Systems auf Basis der Anforderungen unter Berücksichtigung von Betriebszuständen und -bedingungen.

Die Prozess-FMEA erfasst alle Funktionen der Prozessschritte/Arbeitsgänge auf Basis der Prozessanforderungen unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen.

Die vollständige Funktionsbeschreibung ist die Basis für die folgende Fehleranalyse und Maßnahmenanalyse.



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Funktionen sind mit Substantiv, Verb und Quantifizierung zu beschreiben.

Substantiv + Verb in aktiver Form + quantifiziert		Parameter, die das Systemverhalten beeinflussen	Einwirkungen durch	Auswirkungen auf
		die Umgebung		
Output $Y=f(xwz)$	Input x	Steuergröße w	Störgrößen z	tolerierbare Nebeneffekte Y^*

Abbildung 15: Bestandteile einer vollständigen Funktionsbeschreibung

Im Folgenden werden Beispiele für eine vollständige Funktionsbeschreibung aufgeführt.

Beispiel einer Wasserpumpe:

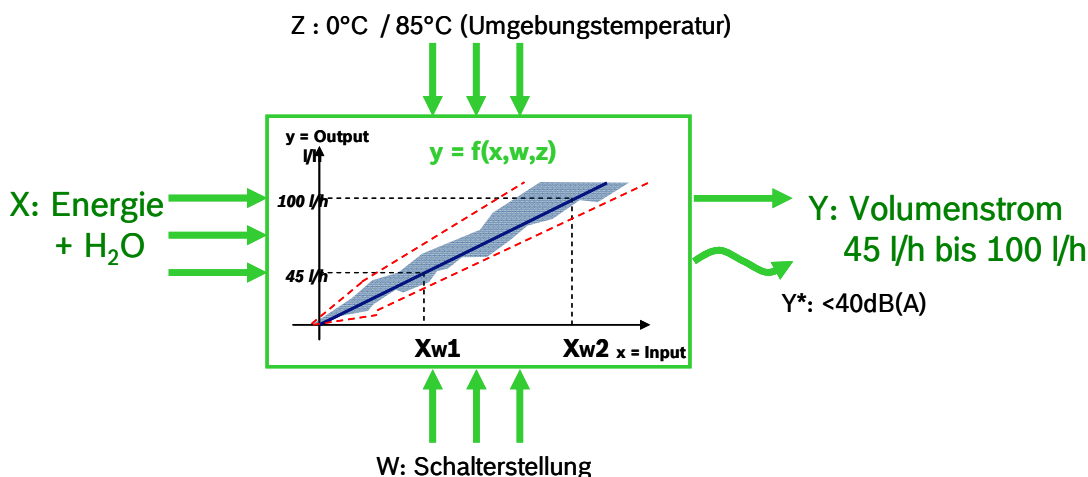
Y, x: Trinkwasser von Ansaugseite zur Druckseite fördern (Betriebsdauer 200 h) mit einem Volumenstrom von 45 l/h bis 100 l/h gemäß Kennlinie 4711 innerhalb der Toleranzgrenzen

w: in Abhängigkeit der Schalterstellung der Pumpe

z: bei Umgebungstemperatur 0°C / +85°C

Y*: unter Einhaltung der Geräuschgrenzwerte <40dB(A).

Das zugehörige Funktionsmodell der Wasserpumpe kann folgendermaßen dargestellt werden.



Trinkwasser von Ansaugseite zur Druckseite fördern (Betriebsdauer 200 h) mit einem Volumenstrom von 45 l/h bis 100 l/h gemäß Kennlinie 4711 innerhalb der Toleranzgrenzen in Abhängigkeit der Schalterstellung der Pumpe bei Umgebungstemperatur 0°C / +85°C unter Einhaltung der Geräuschgrenzwerte <40dB(A).

Abbildung 16: Beispiel einer Funktionsbeschreibung mit Umgebungsbedingungen

Im folgenden Bild wird das Beispiel einer Funktionsbeschreibung in einer Produkt-FMEA anhand eines Fensterheberantriebs dargestellt.



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

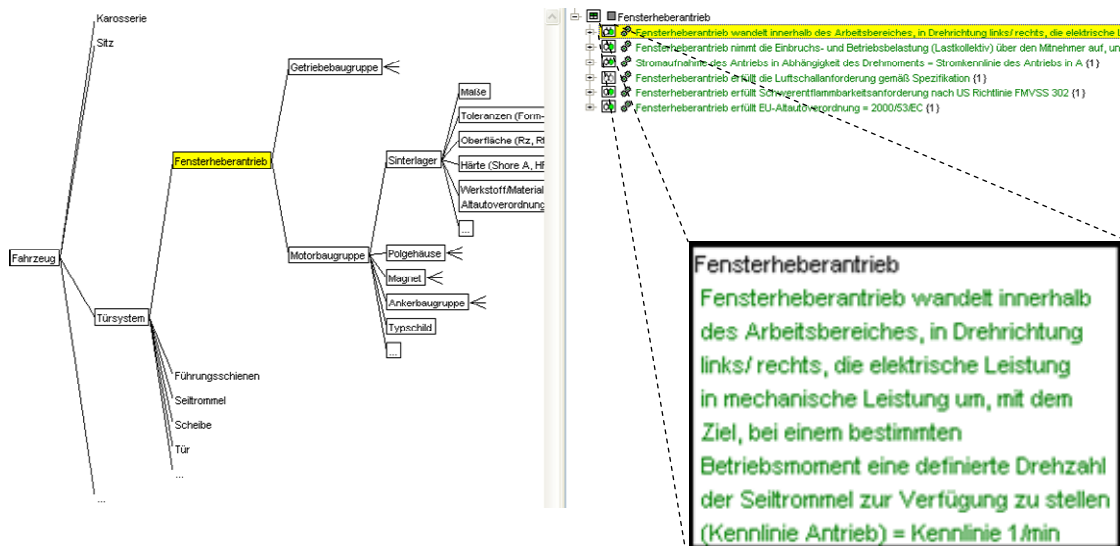


Abbildung 17: Beispiel einer Funktionsbeschreibung Produkt-FMEA

Es folgt das Beispiel einer Funktionsbeschreibung in der Prozess-FMEA anhand eines Pneumatikgreifers.

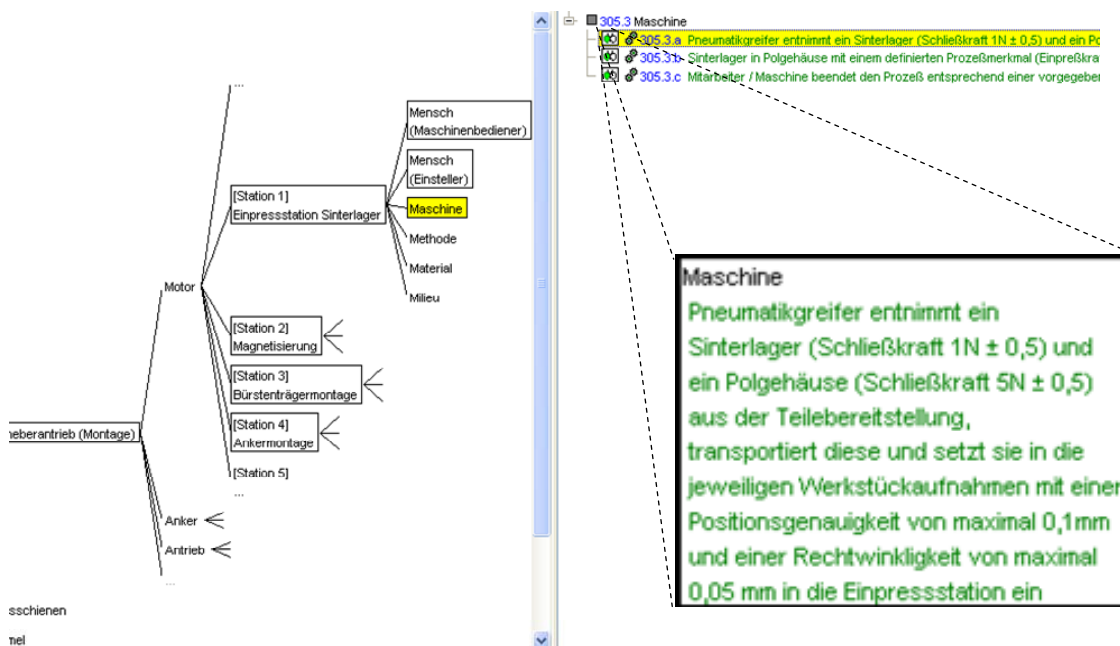


Abbildung 18: Beispiel einer Funktionsbeschreibung Prozess-FMEA



3.2.3. Funktionsnetz

Das Zusammenwirken der Funktionen der Systemelemente wird im Funktionsnetz dargestellt. Teilfunktionen, die in der Summe eine übergeordnete Funktion erfüllen, werden untereinander logisch zu einem Funktionsnetz verknüpft (UND-Verknüpfung).

Es werden keine Abläufe dargestellt, sondern funktionale Abhängigkeiten (Funktionsbeiträge, Mittel zum Zweck Beziehung).

Die Vollständigkeit der Funktionen sowie die Konsistenz der Funktionsbeschreibungen (z.B. Eingangsbedingungen) werden überprüft, offene Punkte gegebenenfalls ergänzt. Das Funktionsnetz führt zu einem besseren Systemverständnis und unterstützt die Fehleranalyse.

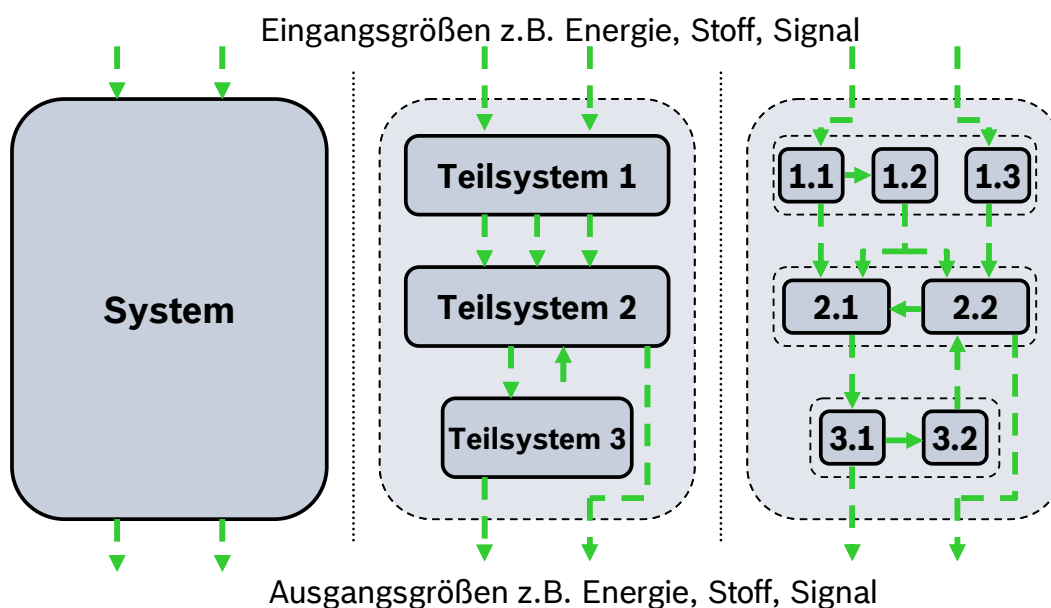


Abbildung 19: Darstellung des Funktionsablaufs

Der Zusammenhang zwischen mehreren Funktionen und ihrem Input bzw. Output kann in einem Flussdiagramm dargestellt werden. In dieser Darstellung kann auch beschrieben werden, wie sich Ausgangsbedingungen einer Funktion als Eingangsbedingungen auf eine andere Funktion auswirken können.

2020-04-06 - SOCOS



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

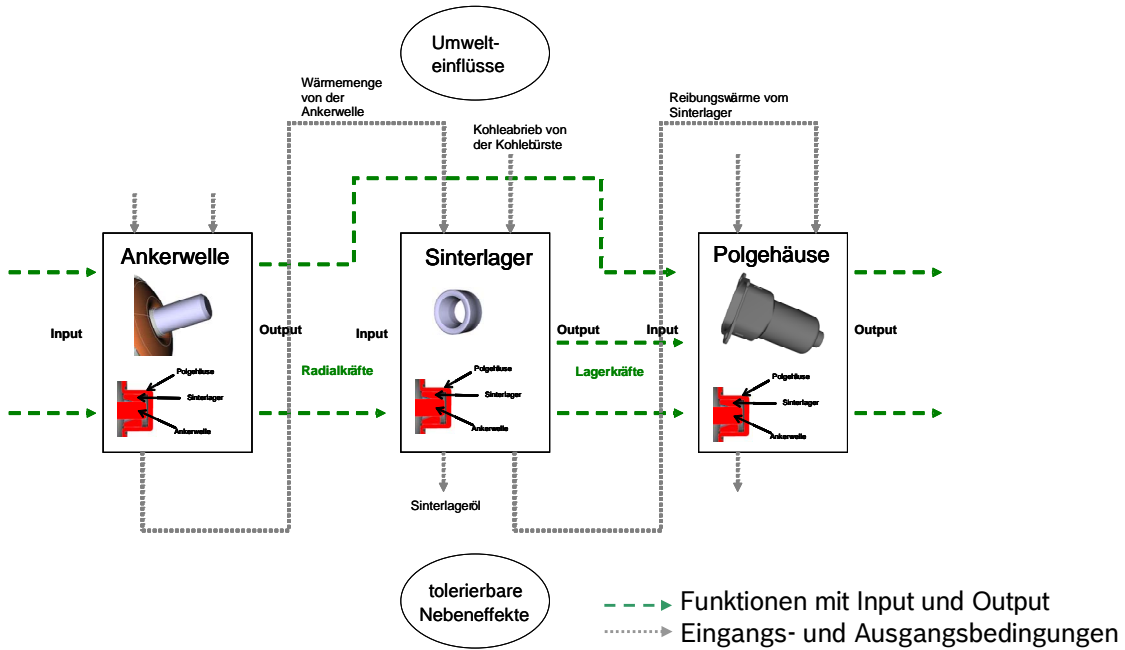


Abbildung 20: Beispiel Energiefluss in einer Komponente

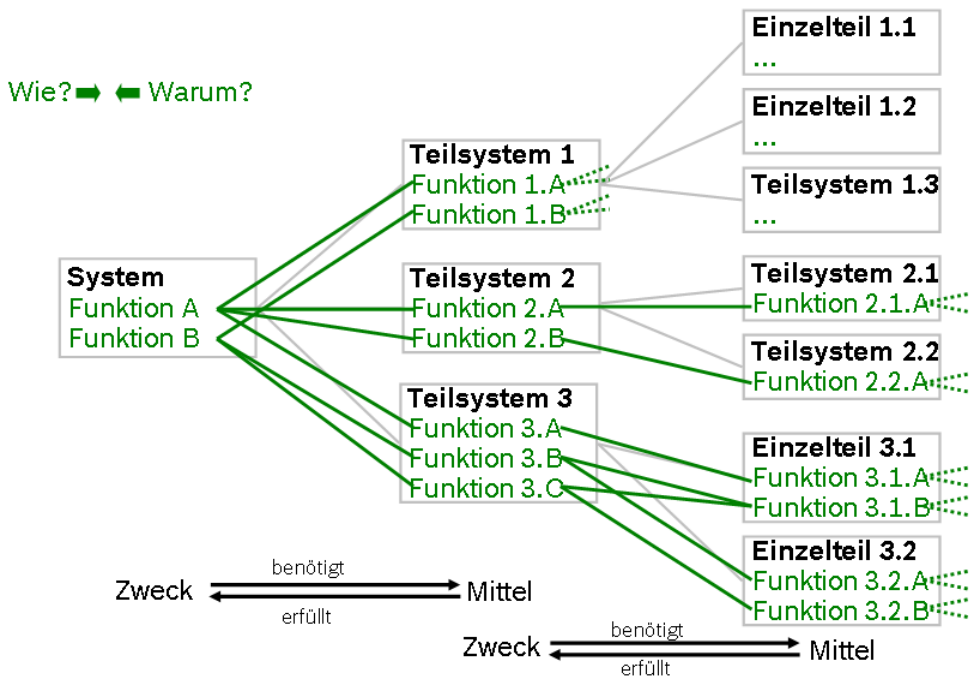


Abbildung 21: Mittel zum Zweck Beziehung im Funktionsnetz

Das Funktionsnetz in Abbildung 19 für die ausgehende Systemfunktion sagt aus, dass die Systemfunktion B nur dann erfüllt ist, wenn sowohl die Beiträge der Teilsystemfunktionen 1.B, 3.B und 3.C gegeben sind. Der Beitrag der Teilsystemfunktion 3.B ist darüber hinaus nur dann erfüllt, wenn die Beiträge der Einzelteilfunktionen 3.1.B und 3.2.A gegeben sind.

Beispiele für Funktionsnetze der Produkt- und Prozess-FMEA siehe Abbildung 20 und 21.



Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)

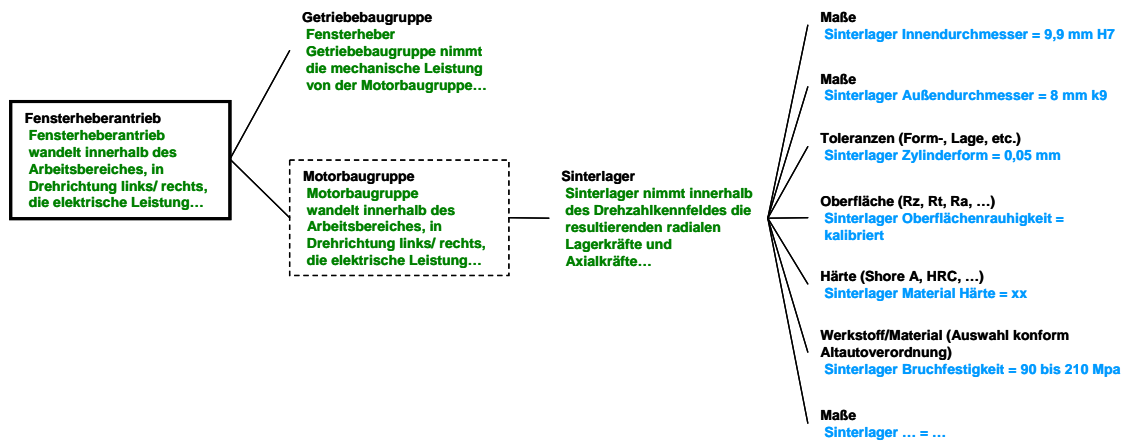


Abbildung 22: Funktionsnetz Produkt-FMEA (Auszug)

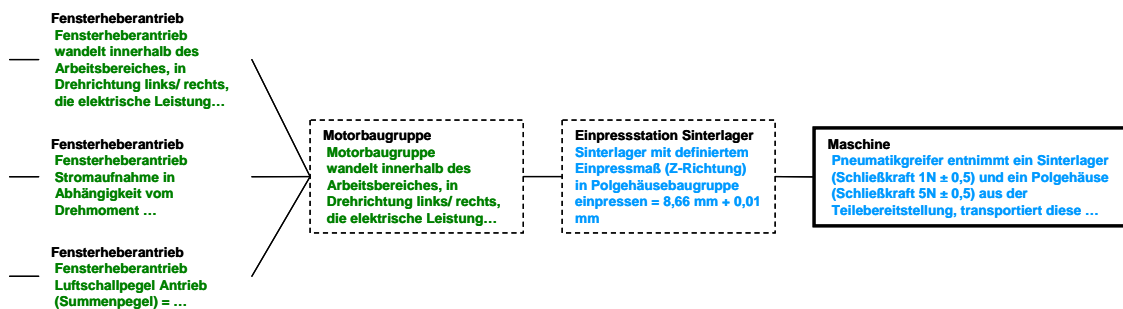


Abbildung 23: Funktionsnetz Prozess-FMEA (Auszug)

3.3. Fehleranalyse

In der Fehleranalyse werden die möglichen Fehler ermittelt. Aus jeder im Analyseumfang befindlichen Funktion werden ein oder mehrere Fehler abgeleitet.

Untersucht werden Fehler im betrachteten System, die eine Nichterfüllung der Funktionen (Fehlfunktion) bzw. der zusätzlich einzuhaltenden Ausgangsbedingungen darstellen.

Dabei gelten folgende Voraussetzungen:

- Fehler des übergeordneten Systems werden in der FMEA des übergeordneten Systems betrachtet.
- Eingangsbedingungen aus dem übergeordneten System werden als gegeben vorausgesetzt.
- Es wird von spezifikationskonformen Input ausgegangen. Ausnahmen sind möglich, wenn Erkenntnisse aus der Vergangenheit über fehlerhaften Input vorliegen.
- Werden in der FMEA Fehler erkannt, die in der übergeordneten Ebene nicht analysiert wurden, müssen diese an die übergeordnete Ebene kommuniziert werden [1].
- Es werden Einzelfehler betrachtet. Im Unterschied dazu wird bei Mehrfachfehlern die logische Kombination von Fehlern betrachtet, was nicht im Rahmen einer FMEA analysiert wird. Solche Analysen können z.B. anhand einer FTA durchgeführt werden.

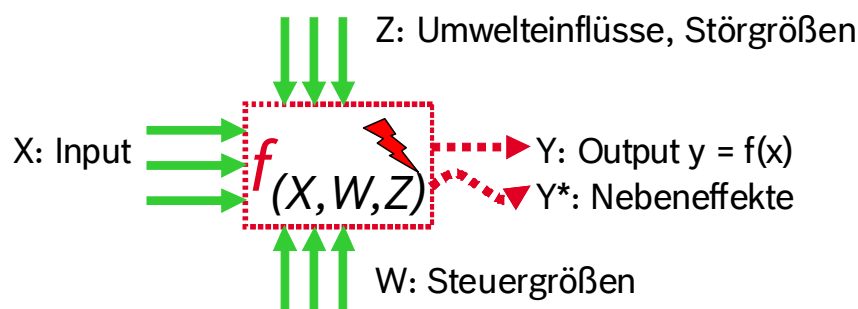
3.3.1. Fehler/Fehlfunktionen

Fehlfunktion beschreiben die Art und Weise, in der eine Funktion oder ein Merkmal nicht erfüllt werden könnte (Abweichung von einer geforderten Funktion).



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Die möglichen Fehler werden wie Funktionen präzise beschrieben (Substantiv + Verb + Adjektiv/Adverb) und mit konkreten Zahlen, Daten, Fakten quantifiziert.



Input, Steuer- und Störgrößen sind im zulässigen Bereich.
Durch fehlerhafte Auslegung der Funktion $f(x,w,z)$ wird ein fehlerhafter Output generiert und/oder es treten nicht tolerierbare Nebeneffekte auf.

Abbildung 24: Fehler

Dabei sind folgende Ausprägungen möglich:

Keine Funktion: Produkt funktioniert überhaupt nicht, fällt aus.

Teilweise / überhöhte / verschlechterte Funktion (quantitative Abweichung): Eine nicht zufrieden stellende Funktionserfüllung. Nicht alle geforderten Merkmale oder Attribute von Spezifikationen werden erfüllt; hierzu zählen auch überhöhte Funktion (zu stark, zu viel) und eine im Laufe der Zeit absinkende Funktionserfüllung (zu gering, zu wenig).

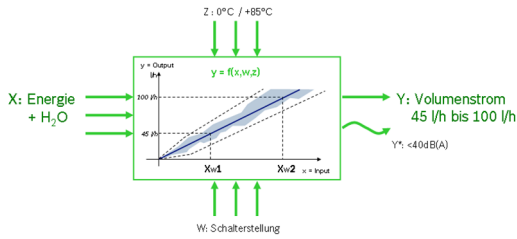
Zeitweilig aussetzende Funktion (temporäre Abweichung): Erfüllt die Forderungen, aber verliert von Zeit zu Zeit aufgrund äußerer Einflüsse (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit) einen Teil seiner Funktionsfähigkeit oder fällt zeitweise ganz aus (zu früh, zu spät, Aussetzer).

Unbeabsichtigte Funktion: Beschreibt Wechselwirkungen zwischen mehreren Systemelementen, die einzeln betrachtet korrekt funktionieren, aber einen unerwünschten Einfluss auf die Gesamtleistung des Produktes oder Prozesses haben. Die Kombination der Einzelleistungen führt zu einer nicht zufrieden stellenden Gesamtleistung.

Unzulässige Nebeneffekte: Die Nebeneffekte des Systems (z.B. Geräusch, Wärme) überschreiten die Toleranzgrenzen, d.h. die Ausgangsbedingungen werden verletzt.



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)



Trinkwasser von Ansaugseite zur Druckseite fördern (Betriebsdauer 200 h) mit einem Volumenstrom von 45 l/h bis 100 l/h gemäß Kennlinie 4711 innerhalb der Toleranzgrenzen in Abhängigkeit der Schalterstellung der Pumpe bei Umgebungstemperatur 0°C / +85°C unter Einhaltung der Geräuschgrenzwerte <40dB(A).

Beispiel für mögliche Fehler

- Pumpe fördert kein Trinkwasser
- Pumpe überschreitet die obere Toleranzgrenze des Volumenstromes im Betriebsbereich
- Pumpe unterschreitet die untere Toleranzgrenze des Volumenstromes im Betriebsbereich
- Pumpe fördert Trinkwasser mit Überschreitung der Geräuschgrenzwerte
- Pumpe fördert mit nicht konstantem Volumenstrom
- Pumpe fördert in falscher Richtung

Abbildung 25: Beispiel für mögliche Fehler

3.3.2. Fehlerfolgen und Fehlerursachen

Aus den Fehlern werden dann die Fehlerfolgen und die Fehlerursachen abgeleitet.

Die möglichen Fehlerfolgen sind die sich ergebenden Fehler (Auswirkungen) der übergeordneten Systemelemente. Dabei sind die Fehlerauswirkungen bis auf die höchste Systemebene (z.B. Endkunde, Fahrzeug) präzise zu beschreiben.

Die möglichen Fehlerursachen sind die denkbaren Fehler der untergeordneten Systemelemente.

Je nach Fokussierung kann ein Fehler als Fehlerursache, Fehlerart oder Fehlerfolge betrachtet werden.

Die Abbildungen 26 und 27 zeigen Ausschnitte aus der Struktur einer Produkt- bzw. Prozess-FMEA mit Funktionen und möglichen Fehlern.

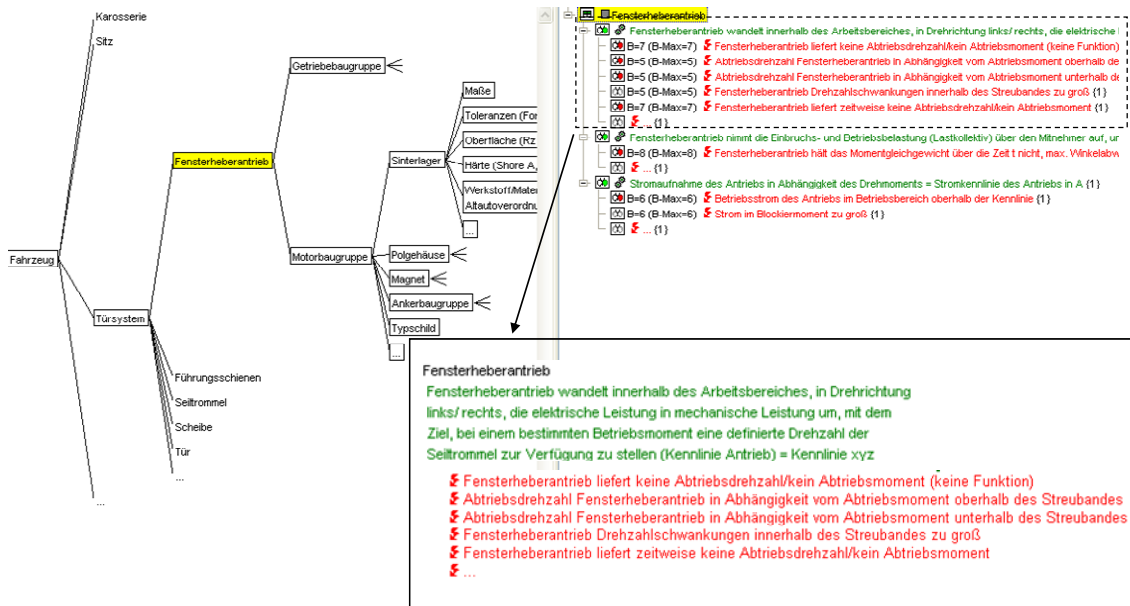


Abbildung 26: Fehlerbeschreibung in der Produkt-FMEA



Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)

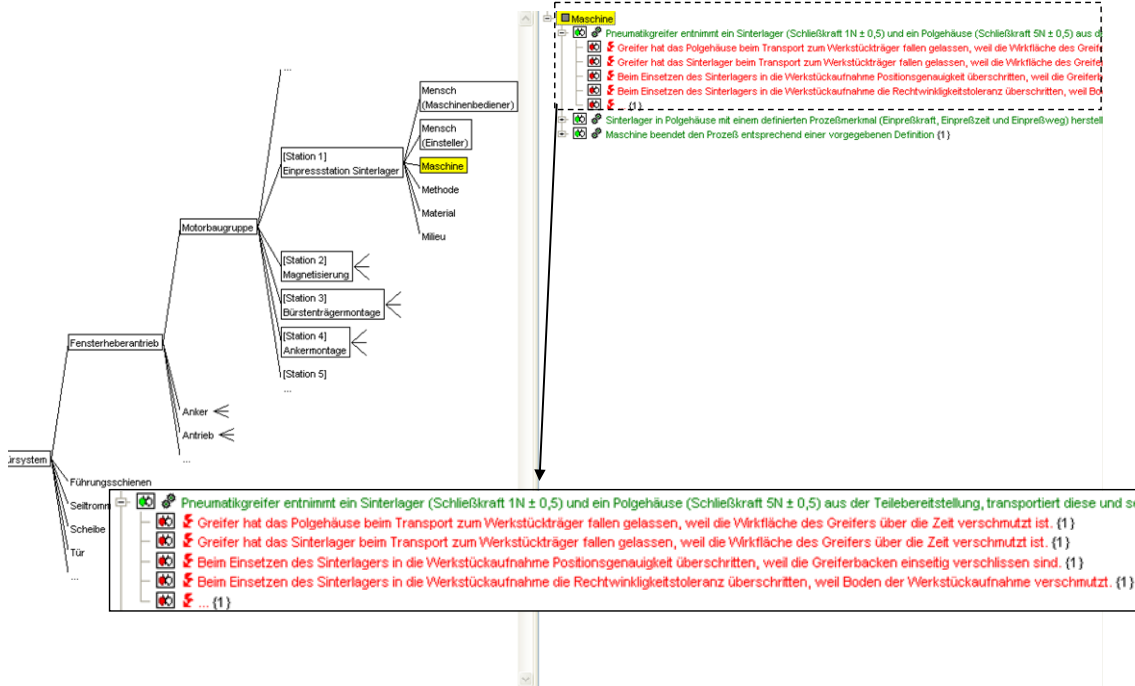


Abbildung 27: Fehlerbeschreibung in der Prozess-FMEA

Im Fehlernetz werden die ermittelten Fehler als Ursache-Wirkungs-Darstellung (logische ODER-Verknüpfung) verknüpft. Basis hierfür sind die Funktionen und das Funktionsnetz. Beispiele für Fehlernetze der Produkt- und Prozess-FMEA siehe Abbildung 26 und 27.

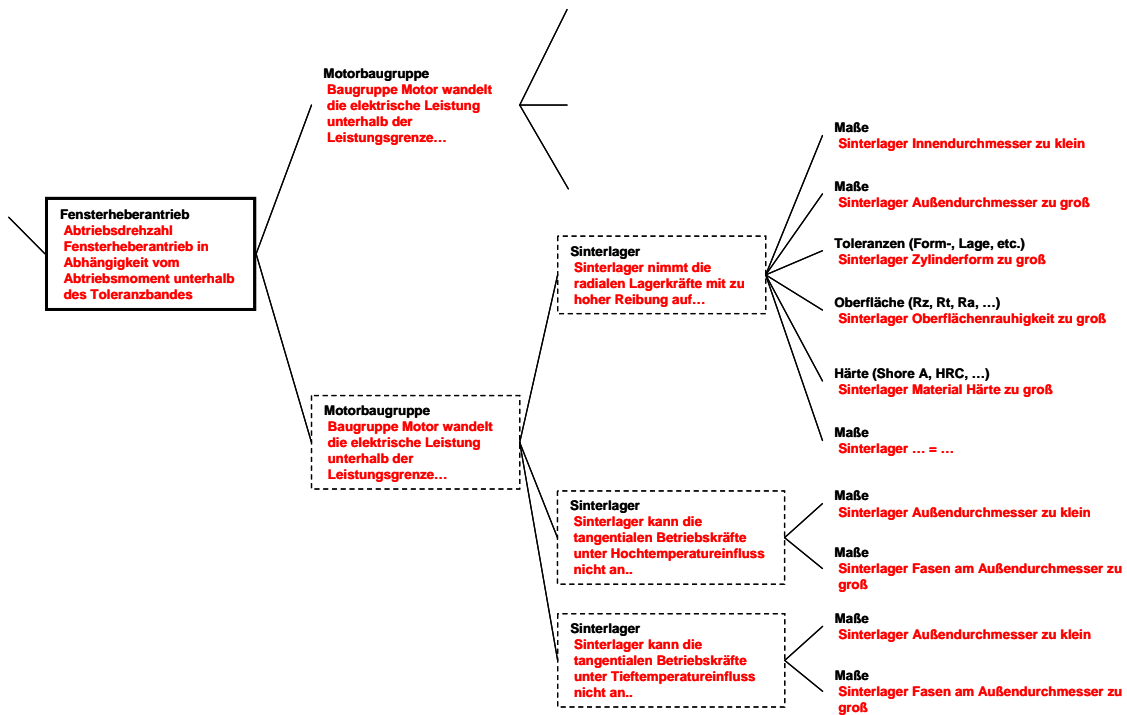


Abbildung 28: Fehlernetz Produkt-FMEA (Auszug)



Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)

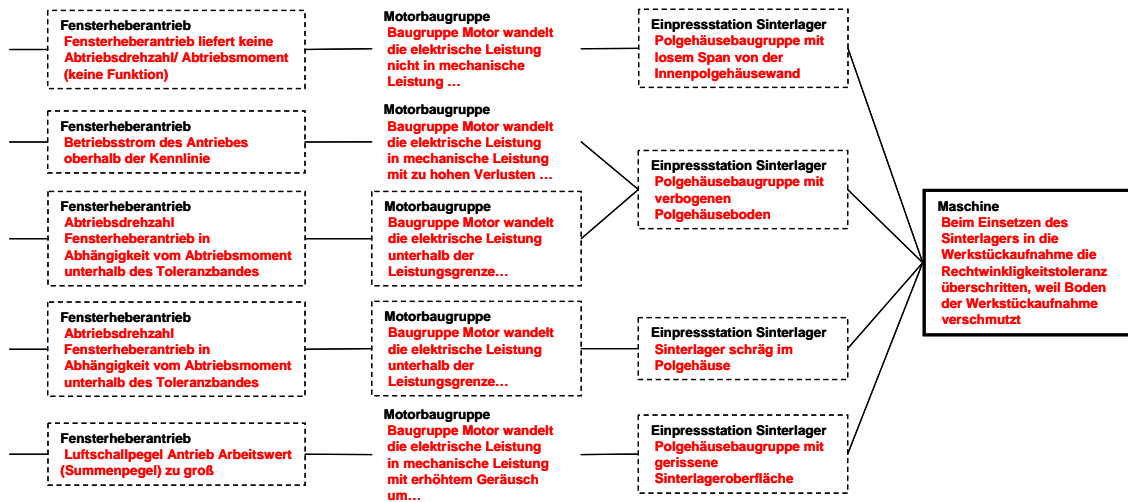


Abbildung 29: Fehlernetz Prozess-FMEA (Auszug)

3.4. Maßnahmenanalyse

Auf Basis der vorhandenen Ergebnisse aus der Produkt-/Prozessentwicklung wird der aktuelle Entwicklungsstand mit den bereits eingeführten Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen beschrieben. Unter Berücksichtigung dieser Maßnahmen wird das Risiko der Ursache-Wirkungs-Ketten, bestehend aus möglicher Fehlerfolge, möglichem Fehler und möglicher Fehlerursache, abgeschätzt durch Bewertung

- der Bedeutung für die Fehlerfolge,
- der Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache und
- der Entdeckungswahrscheinlichkeit in der Ursache-Wirkungs-Kette.

Durch Multiplikation der drei Einzelbewertungen wird die so genannte Risiko-Prioritäts-Zahl (RPZ) berechnet. Sie dient, neben weiteren Kennzahlen, der Priorisierung der Risiken mit dem Ziel, im nachfolgenden FMEA Schritt Optimierungsmaßnahmen festzulegen.

3.4.1. Bedeutung (B)

Die Bedeutung einer Fehlerfolge auf der obersten Ebene des Betrachtungsumfangs bzw. an der zum übergeordneten System definierten Schnittstelle wird durch die Zahl „B“ bewertet. Die Bewertung erfolgt unabhängig von der Auftretenswahrscheinlichkeit (A) und Entdeckungswahrscheinlichkeit (E). Die B-Bewertung wird auf Basis von produkt- bzw. branchenspezifischen Bewertungstabellen vorgenommen. Beispiele hierfür sind im Automotive-Bereich die Bewertungskriterien nach VDA bzw. AIAG [2], [1]. Beschreibungen und Bewertungen der Fehlerfolgen werden zwischen Produkt- und Prozess-FMEA abgeglichen.

Beispiele für Bewertungstabellen befinden sich im Anhang.

3.4.2. Auftretenswahrscheinlichkeit (A)

Die Bewertungszahl „A“ spiegelt die Wahrscheinlichkeit wider, mit der eine mögliche Fehlerursache auftritt. Bei der Bewertung werden die eingeführten Maßnahmen zur Vermeidung der Fehlerursache berücksichtigt. Die Wirksamkeit dieser Vermeidungsmaßnahmen ist nachzuweisen. Ist keine Vermeidungsmaßnahme beschrieben, ist mit A=10 zu bewerten.

Die Bewertungszahl „A“ ist eher als relative Einschätzung statt als absolute Maßzahl zu verstehen. Sie berücksichtigt die Lebensdauer des Produktes (Produkt-FMEA) bzw. zeitliche Aspekte bei Prozessen (Prozess-FMEA).



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Unter der **Fehlervermeidung** versteht man alle Präventivmaßnahmen, die in der Produkt-/ Prozessauslegung ergriffen wurden, um die Fehlerursachen zu vermeiden oder deren Auftretenswahrscheinlichkeit zu reduzieren. In der Produkt-FMEA werden eingeführte Maßnahmen betrachtet, die Auslegungsfehler vermeiden oder minimieren, in der Prozess-FMEA solche, die Prozessfehler vermeiden oder minimieren. Mit der Auftretenswahrscheinlichkeit wird daher die Qualität der Auslegung bewertet.

Die Fehlervermeidungsmaßnahmen sind so zu beschreiben, dass nachvollziehbar ist, welche Fehler vermieden werden. Bei den Fehlervermeidungsmaßnahmen ist Bezug zu nehmen auf die Dokumente, in denen das Ergebnis der eingeführten Maßnahmen dokumentiert ist, z.B. Toleranzrechnung, Versuchsbericht, 8-D Bericht.

Beispiele für Bewertungstabellen befinden sich im Anhang.

3.4.3. Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)

Die Bewertungszahl "E" spiegelt die Wahrscheinlichkeit wider, mit der der Fehler in der Wirkungskette (Fehlernetz) durch die beschriebenen Untersuchungsmaßnahmen vor Übergabe an den Kunden entdeckt wird. Es wird also die Wirksamkeit der eingeführten Entdeckungsmaßnahmen bewertet. Kunde ist die Organisation, die das Arbeitsergebnis erhält.

Unter **Fehlerentdeckungsmaßnahmen** versteht man alle Maßnahmen, die geeignet sind, den potentiellen Fehler zu entdecken, wenn er auftritt.

Bei der Produkt-FMEA sind dies Erprobungen, Versuche und Tests mit nachfolgender Analyse bis zur Freigabe.

Bei der Prozess-FMEA sind dies alle Prüfungen und Entdeckungsmöglichkeiten bis zur Auslieferung an den Kunden. Die Eignung der Prozessüberwachung ist zu beurteilen. Um sporadisch auftretende Fehler zu entdecken und die Weiterbearbeitung von fehlerbehafteten Teilen im Folgeprozess zu verhindern, sind Stichprobenprüfungen nur bedingt geeignet.

Die Entdeckungsmaßnahmen sollten sich möglichst auf die Fehlerursache beziehen, die Entdeckung an der Fehlerquelle ist zu bevorzugen. Auf Grund technischer und/oder wirtschaftlicher Überlegungen kann auch die Entdeckung des Fehlers in der Wirkungskette sinnvoll sein. Die Maßnahmen sind eindeutig und nachvollziehbar zu formulieren, ggf. unter Verweis auf ein Dokument.

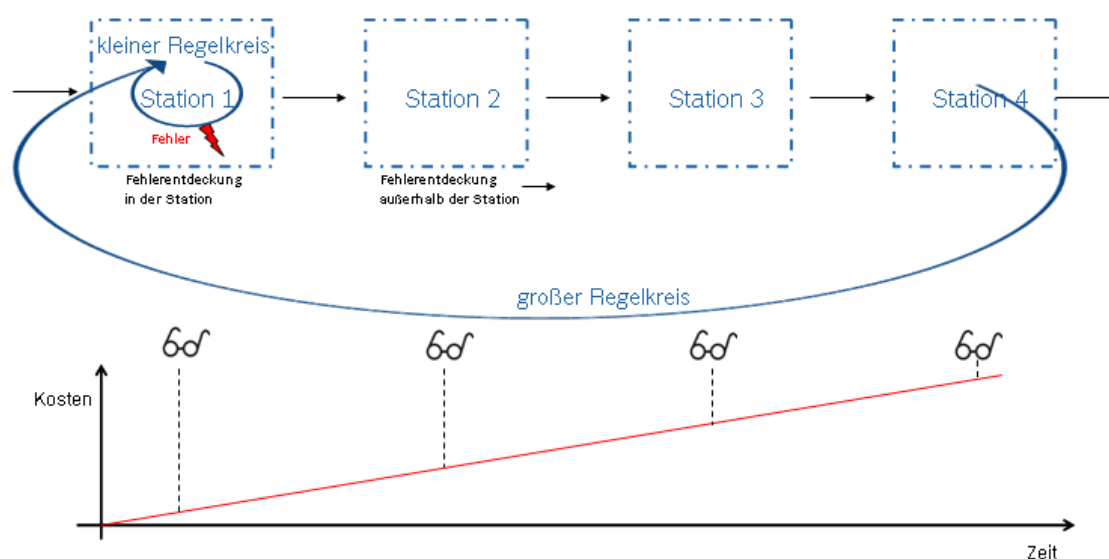


Abbildung 30: Q-Regelkreis „Schnelle Reaktion“ (Ziel: Entdeckung am Entstehungsort!)

Ist keine Entdeckungsmaßnahme beschrieben, wird mit E= 10 bewertet.



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Die **Fehlerentdeckungsmaßnahmen** sind so zu beschreiben, dass nachvollziehbar ist, welche Fehler entdeckt werden. Bei den Fehlerentdeckungsmaßnahmen ist Bezug zu nehmen auf die Position im Erprobungsblatt, Dokumentation der Fähigkeitsuntersuchung, Prüfungen im Prozess, oder anderer Versuchsbeschreibungen.

Beispiele für Bewertungstabellen befinden sich im Anhang.

In der nachfolgenden Darstellung ist die Interpretation der Bewertungszahlen A und E in der Produkt- und Prozess-FMEA zusammenfassend beschrieben.

	A Auftrittswahrscheinlichkeit	E Entdeckungswahrscheinlichkeit
Produkt FMEA	Bewertung der Qualität der Auslegung zur Vermeidung des Fehlers	Bewertung der Qualität der Verifizierung der festgelegten Auslegung zur Vermeidung des Fehlers
Prozess FMEA	Bewertung der Qualität der Auslegung des Prozesses zur Vermeidung des (Herstellungs-) Fehlers	Bewertung der Qualität der Entdeckung des (Herstellungs-) Fehlers

Abbildung 31: Überblick A und E

Die folgenden Darstellungen erläutern die Abgrenzung zwischen Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen in der Produkt- bzw. Prozess-FMEA.

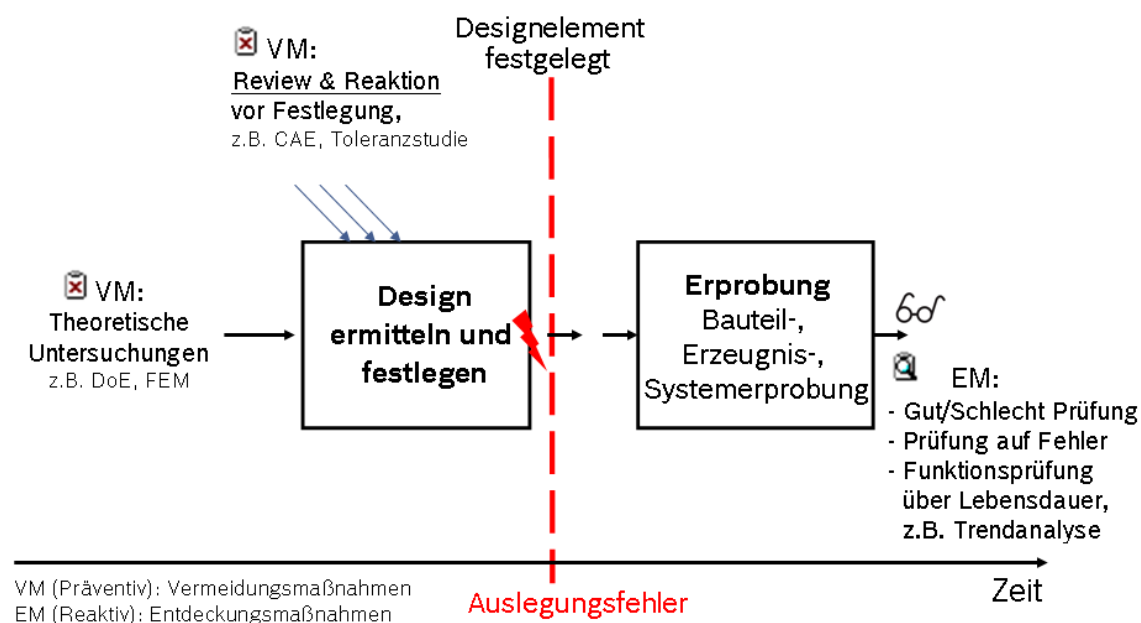


Abbildung 32: Vermeidung und Entdeckung in der Produkt-FMEA



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

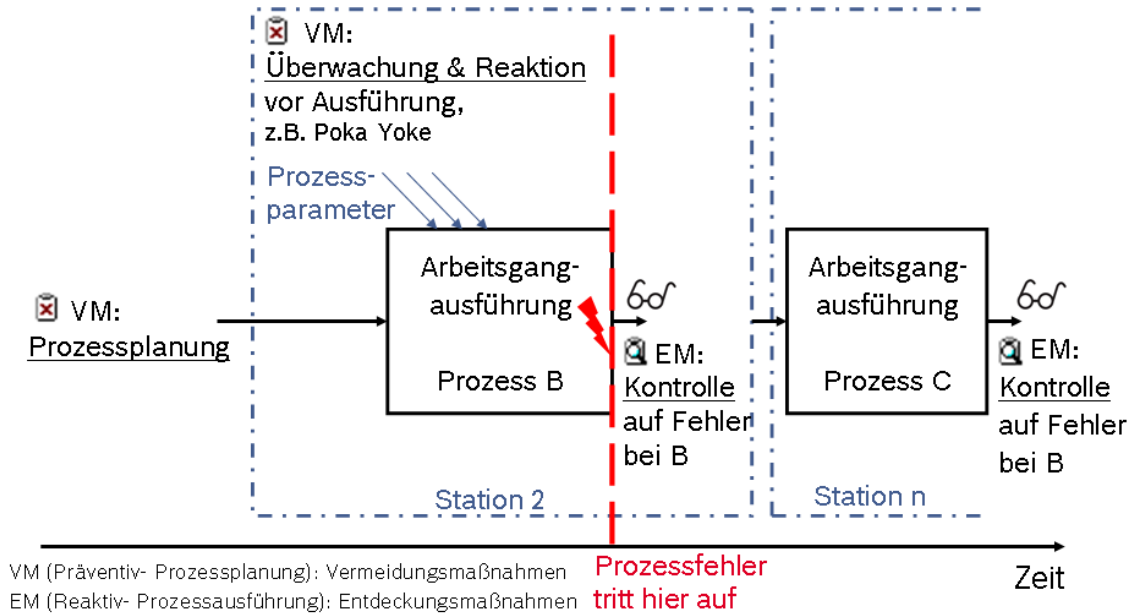


Abbildung 33: Vermeidung und Entdeckung in der Prozess-FMEA

Bei der Maßnahmenbeschreibung sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- Was wird vermieden bzw. entdeckt (logischer Zusammenhang zwischen Fehler und Maßnahme)?
- Wo findet Vermeidung bzw. Entdeckung statt?
- Wie groß ist Prüfintervall und –umfang?
- Mit welchen Teilen/Hilfsmitteln wird die Maßnahme durchgeführt?
- Wer oder was führt die Maßnahme durch?
- Wo ist das Ergebnis dokumentiert?
- Wo sind die Vorgaben zur Maßnahme beschrieben?
- Wie sieht die Reaktion auf das Ergebnis der Maßnahme aus?

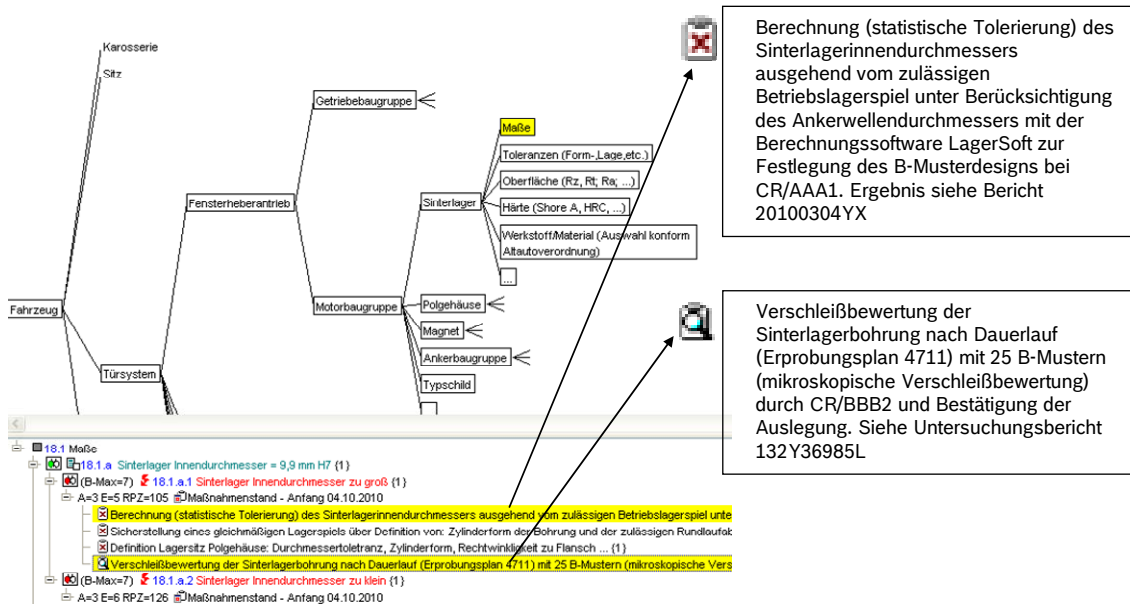


Abbildung 34: Beispiel für Maßnahmenbeschreibung in der Produkt-FMEA



Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)

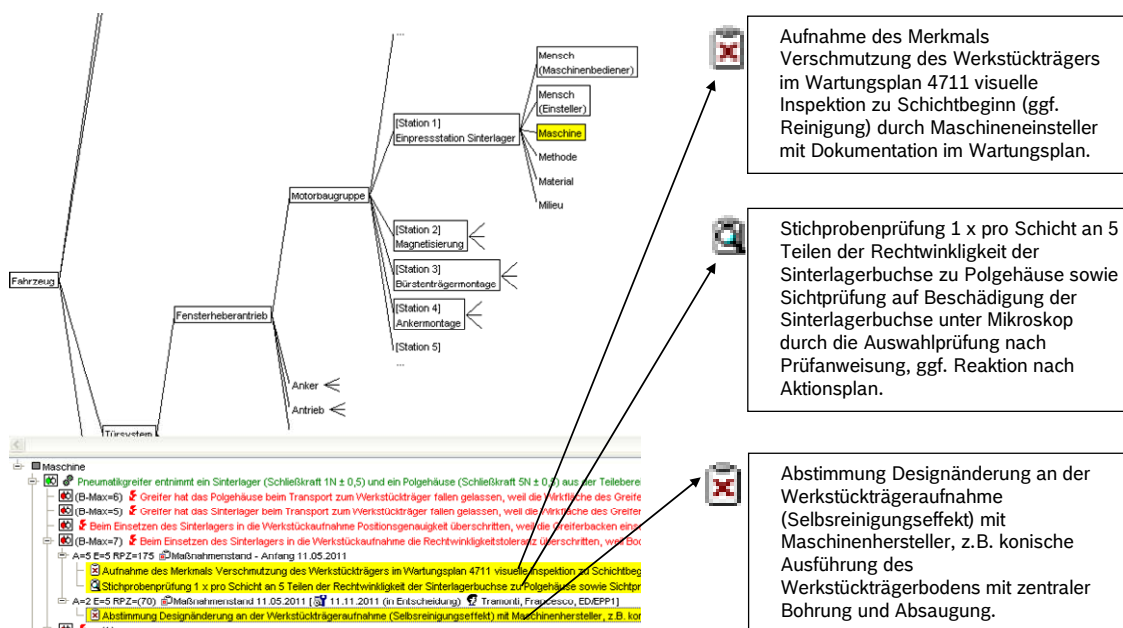


Abbildung 35: Beispiel für Maßnahmenbeschreibung in der Prozess-FMEA

3.4.4. Risikobewertung

Ziel der Risikobewertung mit den Bewertungszahlen B, A und E ist es, die potenziellen Schwachstellen zu priorisieren, um Ansatzpunkte zur Optimierung im nachfolgenden FMEA-Schritt zu finden.

Voraussetzung für eine wirksame FMEA sind dabei folgende Regeln für kritische Bewertung:

- Bewertungen sind im Team abzustimmen.
- Bewertungstabelle ist von 10 (schlechtester Fall) nach 1 abzufragen.
- Bewertungszahl darf nur begründet heruntergestuft werden.
- Bei Uneinigkeit ist die jeweils höhere Bewertungszahl zu verwenden.
- Doppelbewertungen sind zu vermeiden. Beispielsweise darf eine sehr gute Entdeckung (E=1, Fehler gelangt nicht zum Kunden) nicht dazu führen, dass die Bedeutung mit B=1 bewertet wird.

Die Bewertungsmaßstäbe sind einheitlich anwenden.

Die so genannte Risikoprioritätszahl (RPZ) ist das Produkt der Einzelbewertungen: $RPZ = B \times A \times E$. Ihre Berechnung ist Standard in der FMEA und geschieht bei Nutzung einer Software automatisch. Für verschiedene Anwendungsfälle können aber auch andere spezifische Kriterien festgelegt werden (z.B. $B \times A$ oder $A \times E$).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der Risikobewertung als relative Einschätzungen und nicht als absolute Maßzahlen zu interpretieren sind. Die Bewertungen verschiedener FMEA sind nicht miteinander vergleichbar. Ebenso eignen sich Grenzwerte für die Risikoprioritätszahl (RPZ) nicht als alleiniges Bewertungskriterium zur Festlegung von Verbesserungsmaßnahmen in der FMEA.



3.5. Optimierung

Auf Basis des bewerteten Entwicklungsstandes werden die ermittelten Produkt-/ Prozessrisiken auf mögliche Verbesserungen überprüft.

Schritt 5 lässt sich damit auch beschreiben als iterativer Entwicklungsprozess (PDCA – Plan, Do, Check, Act) zur Verbesserung des Produktes / Prozesses durch gezielte Maßnahmen zur Senkung der jeweiligen Einzelbewertung B, A oder E mit anschließender Wirksamkeitsprüfung und erneuter Entscheidung über die Zielerreichung.

Die Vorgehensweise gliedert sich dabei in folgende Schritte:

- Die Risiken des analysierten Produktes / Prozesses werden priorisiert, das heißt, es wird eine Sortierung vorgenommen, z. B. nach Einzelbewertungen, RPZ, BxA oder AxE.
- Sind die priorisierten Risiken nicht akzeptabel, werden neue Maßnahmen vorgeschlagen. Diese neuen Maßnahmen werden vorab bewertet, mit Verantwortlichen und Terminen versehen und zur Entscheidung gebracht. Für die geplante Maßnahme erfolgt eine erwartete Bewertung in runden Klammern ().
- Nach Umsetzung der Maßnahmen ist eine Wirksamkeitskontrolle bzgl. der vorab durchgeführten Bewertung durchzuführen und die Bewertung zu überprüfen. Stellt sich heraus, dass die Maßnahme nicht das gewünschte Ergebnis erzielt hat, ist die Bewertung entsprechend anzupassen und die Optimierung so oft zu durchlaufen, bis ein akzeptables Ergebnis erreicht ist.
- Das Ergebnis der umgesetzten Maßnahmen ist in der FMEA nachvollziehbar zu beschreiben, weitere Dokumente wie z.B. Ergebnisberichte sind ggf. zu referenzieren.

3.5.1. Kriterien für die Festlegung von Maßnahmen

Die folgenden Kriterien unterstützen bei der Entscheidung, ob neue Maßnahmen festzulegen sind:

- Bei sicherheitsrelevanten Fehlerfolgen bzw. bei Nichterfüllung gesetzlicher Vorschriften sind, wenn möglich, Maßnahmen einzuführen, welche die Bedeutung der Fehlerfolge reduzieren.
- Zugesagte Kundenvorgaben sind zu berücksichtigen. Kundenforderungen sind gemäß interner Vorschrift [8] abzustimmen.
- Die RPZ gibt einen Hinweis auf Priorisierung, ist aber als alleinige Entscheidungsgrundlage nicht ausreichend.
- Bei hohen Einzelbewertungen sind Verbesserungsmaßnahmen zu prüfen und ggf. einzuführen.
- Für verschiedene Anwendungsfälle können spezifische Kriterien (z.B. BxA, AxE) festgelegt werden.
- Die Kriterien zur Festlegung von Optimierungsmaßnahmen in der FMEA sind in der Zentralanweisung [3] festgelegt und können projektspezifisch weiter detailliert werden.

3.5.2. Auswahl der Maßnahmen

Die Auswahl der Maßnahmen geschieht nach folgender Reihenfolge:

- Konzeptänderung, um die Fehlerursache auszuschließen bzw. eine Fehlerfolge mit einer geringeren Bedeutung zu erhalten,



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

- Verbesserung der Auslegung der Produkt-/Prozesselemente, um die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache zu minimieren,
- wirksamere Entdeckung der Fehler.

Hinweise:

- Bei Konzeptänderungen werden für die betroffenen Teilbereiche alle fünf Schritte der FMEA neu durchlaufen.
- Fehlervermeidung ist wirtschaftlicher als Fehlerbeseitigung.
- Es ist die Fehlerentdeckung an der Fehlerquelle (Entstehungsort) anzustreben, um die Verschleppung von Fehlern und Verschwendung von Ressourcen zu vermeiden (Ausschuss, Nacharbeit, zusätzliche Wertschöpfung).

3.5.3. Entscheidung über umzusetzende Maßnahmen

Das FMEA-Team hat die Aufgabe, technische Risiken von Produkten und Prozessen zu ermitteln und mögliche Lösungen zur Risikoreduzierung vorzuschlagen.

Bei der Einführung von Verbesserungsmaßnahmen sind außer den rein technischen auch die finanziellen, zeitlichen und strategischen Aspekte zu berücksichtigen.

Die Entscheidung über den zu investierenden Aufwand kann nur bis einer bestimmten Grenze vom FMEA-Team selbst getroffen werden. Entscheidungen oberhalb dieses Rahmens liegen in der Verantwortung der Entscheidungsträger. Als Entscheidungsgrundlage wird eine Präsentation der FMEA-Ergebnisse empfohlen.

3.6. Dokumentation und Freigabe

FMEA sind vertrauliche Dokumente. Sie können in gedruckter Form oder als Datei vorliegen.

Zu jeder FMEA-Ausgabe ist ein Dokumentensatz mit folgenden Unterlagen zu erstellen:

- Dokument mit FMEA-Basisinformationen (FMEA-Deckblatt),
- Nachweis der Zustimmung,
- FMEA-Formblätter (RB-Formblatt oder Formblatt mit vergleichbarem Inhalt),
- Verwendete Bewertungstabellen.

Ein Beispiel des FMEA-Deckblatts befindet sich im Anhang 2.

FMEA-Dokumente sind nach festgelegten Vorgaben aufzubewahren und zu archivieren [10].

FMEA sind in IQ-RM zu erstellen und in elektronischer Form abzulegen. Dadurch wird der Informationsaustausch zwischen den FMEA-Anwendern erleichtert. Der Projektleiter entscheidet, welche Dokumente zusätzlich in Papierform archiviert werden.

Die Unterschrift unter die FMEA dokumentiert das Einverständnis zum gesamten FMEA-Inhalt. Die Verantwortlichen entscheiden außerdem, ob das verbleibende Risiko getragen werden kann und dokumentieren dies durch ihre Unterschrift auf dem Deckblatt.

Ist die FMEA-Ausgabe vollständig erarbeitet bzw. aktualisiert, wird

- die Präsentation der Ergebnisse vorbereitet,
- die Zustimmung durch Unterschriftendurchlauf eingeholt.



4. Besondere Anwendungen

4.1. FMEA für Kundenbetrieb

Die FMEA wird in einem frühen Stadium des Produktentstehungsprozesses eingesetzt. Sie untersucht den zu diesem Zeitpunkt gültigen Entwicklungs- oder Planungsstand auf mögliche Fehler, um damit Maßnahmen zu deren Vermeidung einzuleiten. Bei mechatronischen Systemen, die Sensoren, Steuergeräte und Aktuatoren enthalten, werden meist Diagnose- und Überwachungsfunktionen implementiert, mit denen das System Fehler diagnostizieren kann. Die Information über solche während des Kundenbetriebs entdeckte Fehler kann genutzt werden, um Fehlerfolgen abzumildern (Notlaufbetrieb), den Fahrer zu informieren und im Service die Fehlersuche und Behebung zu erleichtern. Die Betrachtungsebenen „Kundenbetrieb“ und „Service“ können daher in die FMEA aufgenommen werden, sind aber gesondert darzustellen.

Wird in der Produkt-FMEA der Kundenbetrieb analysiert, wird eine spezifische Bewertungstabelle für die Entdeckungswahrscheinlichkeit verwendet (siehe Anhang).

4.2. Produkt-FMEA und Diagnose

Die Produkt-FMEA enthält wichtige diagnoserelevante Informationen, die als Eingangsinformationen für den Diagnose-Entwicklungsprozess genutzt werden können. So können z.B. die Angaben der Fehleranalyse bei der Erstellung von Fehlersuchbäumen für die Diagnose verwendet werden, und die Strukturanalyse kann Hinweise auf die kleinste tauschbare Einheit liefern. Der Abgleich zwischen Produkt-FMEA und Fehlersuchbaum trägt zur Vervollständigung der Diagnose bei.

Hinweise für die im Hinblick auf Diagnose optimierte FMEA-Erstellung:

- Struktur in servicerelevante Komponenten (kleinste tauschbare Einheit) gruppieren,
- Einheitliche Fehlerfolgenbeschreibungen und Schwerebewertungen auf Fahrzeugebene in verschiedenen korrespondierenden FMEA, dabei Fortpflanzung von Fehlerauswirkungen über Systemgrenzen hinweg beachten,
- Werkstattrelevante Fehlerfolgen sollen vorhanden und auf Fahrzeugebene sein,
- Einheitliche Abbildung der Fehlerfolgen auf Fahrzeugebene auf die fahrererlebbaren Symptome (die technische Beschreibung entspricht oft nicht der Beschreibung des Kunden).

4.3. FMEA und DRBFM

DRBFM (Design Review Based on Failure Mode) ist eine systematische Vorgehensweise, um Erzeugnisse im Verlauf der Entwicklung inhaltlich zu verstehen und zu analysieren. Sie fokussiert auf potenziell kritische Änderungen an einem vorhandenen Design und deren Einflüsse auf Funktionen (Beschreibung mit Grenzen und Randbedingungen) sowie daraus resultierende potenzielle Probleme. DRBFM leitet dazu an, die technischen Risiken detailliert zu betrachten und Lösungen zu erarbeiten mit dem Ziel einer robusten Konstruktion. In Design Reviews präsentiert der Entwickler kritischen Fachspezialisten, warum und wie seine Konstruktion funktioniert.

Als entwicklungsbegleitende, präventive Methoden mit dem Ziel, potenzielle Probleme frühzeitig zu ermitteln und Vermeidungsmaßnahmen zu definieren, wirken FMEA und DRBFM eng zusammen und ergänzen sich. Während bei der FMEA ein Produkt durchgängig betrachtet wird, fokussiert DRBFM auf potenziell kritische Änderungen an einem Erzeugnis gegenüber einem Vorgänger- oder Vergleichsprodukt. Die Nutzung und der Betrachtungsumfang von DRBFM werden während der Produktentwicklung festgelegt, um Doppelarbeit mit FMEA zu



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

vermeiden. Die Anwendung der DRBFM kann die Anwendung der FMEA nicht ersetzen, da Betrachtungsumfang und Inhalt nicht identisch sind.

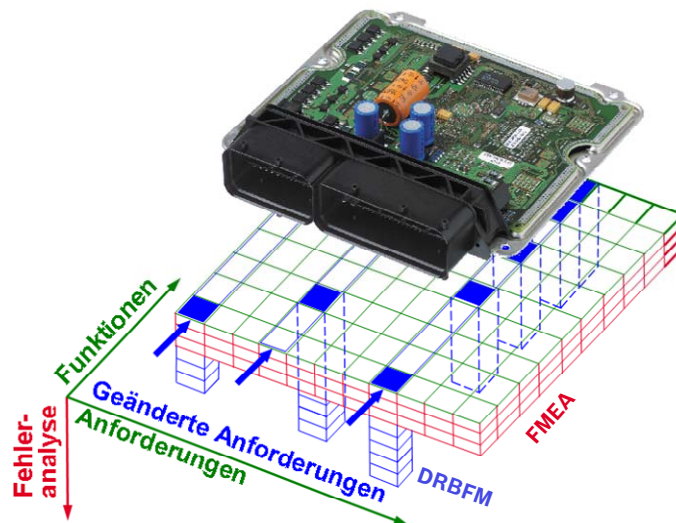


Abbildung 36: Zusammenwirken von FMEA und DRBFM

Ergebnisse, die mit einer der beiden Methoden erarbeitet wurden, können jeweils für die andere verwendet werden. Die Dokumentation in einer gemeinsamen Datenbasis ist möglich.



5. FMEA Software

Das Software-Tool IQ-RM unterstützt den Anwender bei der strukturierten Erfassung, Darstellung und Auswertung der zu verarbeitenden Informationen. Das Programm fördert die methodische Vorgehensweise.

Die FMEA-relevanten Leistungsmerkmale von IQ-RM im Überblick:

- Strukturbäume,
- Funktionsnetze,
- Fehlernetze,
- FMEA-Formblätter,
- Maßnahmen/Terminpläne,
- Statistische Auswertungen.

Die aktuelle Version kann über PeaCy installiert oder im Intranet auf der Homepage der Zentralabteilung C/QM heruntergeladen und installiert werden. Die Robert-Bosch GmbH inkl. Tochtergesellschaften mit Beteiligung > 50 % besitzen eine Konzernlizenz, die eine weltweite Nutzung und den Austausch von Daten ermöglicht.

IQ-RM Kenntnisse werden im Seminar TQ012 vermittelt.



6. Literaturhinweise

- [1] Chrysler, Ford, General Motors: Potential Failure Mode and Effects Analysis, AIAG Handbook, Ed. 4, 2008
- [2] Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz - FMEA, VDA Band 4/3, 2006
- [3] CDQ 0305 Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)
- [4] C/MSA Zentralanweisung R05: Kundenkommunikation von FMEA/DRBFM/FTA/FMEDA/Control Plan/Safety Case
- [5] CDQ 0306 Umgang mit Besonderen Merkmalen
- [6] Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz - Fehlerbaumanalyse (FTA) VDA Band 4/4
- [7] CDQ 0303 Systeme mit sicherheitstechnischen Anforderungen
- [8] CDQ 1105 Umsetzung von Kunden-Qualitäts-Forderungen der Erstausrüster-Kunden
- [9] B1.300 Vereinbarungen mit Lieferanten zur Qualitätssicherung
- [10] CDQ 0206 Nachweisführung
- [11] RB/GF 108 Weitergabe schutzbedürftiger Informationen an Außenstehende
- [12] RB/GF 146 Entscheidungen über Eigenleistungen oder Fremdbezug
- [13] RB/GF 169 Einkauf
- [14] FMEA – Juristische Aspekte, Schreiben C/LSK vom 21.10.2010 (siehe Intranet C/QM-FMEA)
- [15] ISO/TS 16949
- [16] ISO 26262



7. Anhang

Anhang 1	Bewertungstabellen
Anhang 2	Deckblatt
Anhang 3	Checkliste Contracting
Anhang 4	Checkliste zur Beurteilung
Anhang 5	FMEA Beispiel „Sauberkeitskonzept“



Anhang 1: Bewertungstabellen

Allgemeine Bewertungskriterien für Bedeutung B der Fehlerfolge für Produkt- und Prozess-FMEA (Auswirkung auf Kunden und Herstellung / Montage)	Bewertung B
<p>Äußerst schwerwiegender Fehler der die Sicherheit beeinträchtigt und/oder die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften verletzt, ohne Warnung. Bediener an der Maschine oder in der Montage kann ohne Vorwarnung gefährdet werden.</p>	<p>10</p>
<p>Äußerst schwerwiegender Fehler der die Sicherheit beeinträchtigt und/oder die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften verletzt, mit Warnung. Bediener an der Maschine oder in der Montage kann mit Vorwarnung gefährdet werden.</p>	<p>9</p>
<p>Schwerwiegender Fehler Ausfall von Hauptfunktionen, z.B. nicht fahrbereites Fahrzeug: Sofortiger Werkstattaufenthalt zwingend erforderlich. 100% des Produktes müsste verschrottet werden bzw. Produkt kann nicht ausgeliefert werden.</p>	<p>8</p>
<p>Schwerer Fehler Funktionsfähigkeit des Fahrzeugs stark eingeschränkt: Sofortiger Werkstattaufenthalt zwingend erforderlich. Produkte müssen verlesen werden und < 100% des Produktes muss verschrottet werden bzw. stark verzögerte Auslieferung bzw. verringerte Taktzeit oder erhöhter Mitarbeiterinsatz.</p>	<p>7</p>
<p>Mittelschwerer Fehler Funktionsfähigkeit des Fahrzeug eingeschränkt wegen Ausfall wichtiger Bedien- und Komfortsysteme: Sofortiger Werkstattaufenthalt nicht erforderlich. 100% der Produktion muss nachgearbeitet werden (außerhalb der Linie).</p>	<p>6</p>
<p>Mittelschwerer Fehler Funktionsfähigkeit des Fahrzeug eingeschränkt wegen Funktionseinschränkung wichtiger Bedien- und Komfortsysteme: sofortiger Werkstattaufenthalt nicht erforderlich. Ein Anteil der Produktion muss nachgearbeitet werden (außerhalb der Linie).</p>	<p>5</p>
<p>Mittelschwerer Fehler Geringe Funktionseinschränkung von Bedien- und Komfortsystemen; von jedem Fahrer erkennbar: Sofortiger Werkstattaufenthalt nicht erforderlich. Passverhalten und äußerliche Ausführung, Quietsch- und Klapperverhalten entsprechen nicht den Forderungen. Fehler wird von den meisten Kunden bemerkt (>75%). 100% der Produktion muss nachgearbeitet werden (an der Bearbeitungsstation vor dem nächsten Prozessschritt).</p>	<p>4</p>
<p>Fehler unbedeutend Der Kunde wird nur geringfügig belästigt und wahrscheinlich nur eine geringe Beeinträchtigung bemerken; vom durchschnittlichen Fahrer bemerkbar. Passverhalten und äußerliche Ausführung, Quietsch- und Klapperverhalten entsprechen nicht den Forderungen. Fehler wird von 50% der Kunden bemerkt. Ein Anteil der Produktion muss nachgearbeitet werden (an der Bearbeitungsstation vor dem nächsten Prozessschritt).</p>	<p>3</p>
<p>Fehler sehr gering Es ist unwahrscheinlich, dass der Fehler irgendeine wahrnehmbare Auswirkung auf das Verhalten des Fahrzeugs haben könnte. Nur vom Fachpersonal oder geübten/erfahrenen Fahrern erkennbar. Passverhalten und äußerliche Ausführung, Quietsch- und Klapperverhalten entsprechen nicht den Forderungen. Fehler wird von einzelnen Kunden bemerkt (<25%). Leicht erschwerten Prozess, Betrieb, oder leichte Belästigung des Bedieners.</p>	<p>2</p>
<p>Keine Auswirkung Keine wahrnehmbare Folgen. Sehr geringe Funktionsbeeinträchtigung, nur vom Fachpersonal erkennbar. Keine wahrnehmbare Auswirkung.</p>	<p>1</p>

2020-04-06 - SOCCOS



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Bewertung A	Allgemeine Kriterien für Produkt- und Prozess-FMEA
10	Sehr hoch Es ist nahezu sicher, dass die Fehlerursache sehr häufig auftritt. Neuentwicklung von Systemen/ Komponenten ohne Erfahrung bzw. unter ungeklärten Einsatzbedingungen. Bekanntes System mit Problemen.
9	Neuer Prozess ohne Erfahrung.
8	Hoch Die Fehlerursache tritt wiederholt auf. Neuentwicklung von Systemen/Komponenten unter Einsatz neuer Technologien bzw. Einsatz bisher problematischer Technologien.
7	Bekanntes System mit Problemen. Neuer Prozess mit bekannten, jedoch problematischen Verfahren.
6	Mäßig Die Fehlerursache tritt gelegentlich auf. Neuentwicklung von Systemen/ Komponenten mit Erfahrung bzw. Detailänderungen früherer Entwicklungen unter vergleichbaren Einsatzbedingungen. Bewährtes System/ Komponenten mit langjähriger, schadensfreier Serienerfahrung unter geänderten Einsatzbedingungen.
5	
4	Neuer Prozess mit Übernahme von bekannten Verfahren. Bewährter Prozess mit positiver Serienerfahrung unter geänderten Bedingungen.
3	Gering Das Auftreten der Fehlerursache ist gering. Neuentwicklung von Systemen/ Komponenten mit absehbar positivem Nachweisverfahren – noch nicht alle Nachweise vorhanden. Detailänderungen an bewährten Systemen/ Komponenten mit langjähriger, schadensfreier Serienerfahrung unter vergleichbaren Einsatzbedingungen. Detailänderungen an bewährten Prozessen mit positiver Serienerfahrung unter vergleichbaren Bedingungen – noch nicht alle Nachweise vorhanden.
2	Sehr gering Das Auftreten der Fehlerursache ist sehr gering. Neuentwicklung von Systemen/ Komponenten mit positiv abgeschlossenem Nachweisverfahren. Detailänderungen an bewährten Systemen/Komponenten mit langjähriger, schadensfreier Serienerfahrung unter vergleichbaren Einsatzbedingungen. Detailänderungen an bewährten Prozessen mit positiver Serienerfahrung unter vergleichbaren Bedingungen.
1	Unwahrscheinlich Das Auftreten der Fehlerursache ist unwahrscheinlich oder ausgeschlossen. Neuentwicklung bzw. bewährtes System/ Komponenten mit Erfahrung unter vergleichbaren Einsatzbedingungen mit positiv abgeschlossenem Nachweisverfahren. Bewährtes System/Komponenten mit langjähriger, schadensfreier Serienerfahrung unter vergleichbaren Einsatzbedingungen. Neuer Prozess unter geänderten Bedingungen mit positiv abgeschlossenem Maschinenfähigkeits-/ Prozessfähigkeits-Nachweis. Bewährter Prozess mit positiver Serienerfahrung unter vergleichbaren Bedingungen auf vergleichbaren Anlagen. Fehler ist durch wirksame Präventivmaßnahme[n] ausgeschlossen.

2020-04-06 - SOCCOS



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Bewertungskriterien "Auslegungsentdeckung" (für System, Subsystem, Komponentenpaket, Konstruktion)	Bewer- tung E	Bewertungskriterien der Entdeckung "im Kundenbetrieb" (für System, Subsystem, Komponentenpaket)
Unwahrscheinlich Die Fehlfunktion bzw. der Fehlermechanismus wird nicht erprobt. Es ist unwahrscheinlich, dass die Entdeckungsmaßnahmen in der Entwicklung eine mögliche Fehlfunktion bzw. Fehlermechanismus entdecken. Die Robustheit/Zuverlässigkeit der Auslegung kann nicht nachgewiesen werden.	10	Unwahrscheinlich Es ist unmöglich oder unwahrscheinlich, dass der Fehler überhaupt oder rechtzeitig entdeckt wird. - kein Monitoring/keine Diagnose der zu überwachenden Funktionen durch das System. - bei der Diagnose kaum oder nur mit sehr hohem Aufwand entdeckbar
	9	
Gering Geringe Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlfunktion bzw. des Fehlermechanismus, da Nachweisverfahren unsicher bzw. keine Erfahrung mit dem Nachweisverfahren.	8	Gering Die Wahrscheinlichkeit ist gering, dass der Fehler überhaupt oder rechtzeitig entdeckt wird. - Monitoring/Diagnose von Teilumfängen der zu überwachenden Funktionen bzw. nur unter bestimmten Betriebsbedingungen durch das System oder den Nutzer - Veränderte Funktion, z.B. komfortabler Ersatzbetrieb - bei der Diagnose nur mit hohem Aufwand entdeckbar
	7	
Mäßig Mäßige Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlfunktion bzw. des Fehlermechanismus. Bewährtes Nachweisverfahren aus vergleichbaren Produkten unter neuen Einsatz-/Randbedingungen.	6	Mäßig Die Wahrscheinlichkeit ist mäßig, dass der Fehler überhaupt oder rechtzeitig entdeckt wird. - Monitoring/Diagnose von Teilumfängen der zu überwachenden Funktionen durch das System - Funktionsausfall/Ersatzbetrieb und/oder mit Warnung des Nutzers z.B durch statisch angesteuerte Warnlampe - bei der Diagnose mit vertretbarem Aufwand entdeckbar
	5	
	4	
Hoch Hohe Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlfunktion bzw. des Fehlermechanismus durch bewährtes Nachweisverfahren. Die Wirksamkeit der Entdeckungsmaßnahme wurde für dieses Produkt nachgewiesen.	3	Hoch Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass der Fehler rechtzeitig entdeckt wird. - Monitoring und Diagnose der zu überwachenden Funktionen durch das System - Funktionsausfall und Ersatzbetrieb mit deutlich spürbarer Beeinträchtigung und/oder mit Warnung des Nutzers, z.B. durch blinkende Warnleuchte - bei der Diagnose sicher mit geringem Aufwand entdeckbar, z.B durch Serviceroutine
	2	
Mit Sicherheit Sehr hohe Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlfunktion bzw. des Fehlermechanismus durch bewährtes Nachweisverfahren an Vorgängergenerationen. Die Wirksamkeit der Entdeckungsmaßnahme wurde für dieses Produkt nachgewiesen.	1	Mit Sicherheit Der Fehler wird sicher und rechtzeitig entdeckt. - Hochwertiges und unabhängiges Monitoring und Diagnose der zu überwachenden Funktionen durch das System - Keinerlei Common Cause-Effekte zwischen Fehlerursache und Entdeckungsmaßnahmen vorstellbar Funktionsausfall/Ersatzbetrieb mit sehr deutlich spürbarer Beeinträchtigung und/oder mit eindeutig wahrnehmbarer Warnung des Nutzers z.B durch ein akustisches Signal. - Durch Eigendiagnose/Anzeige ohne zusätzliche Prüfmittel durch den Nutzer oder die Diagnose sicher entdeckbar

2020-04-06 - SOCCOS




Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

E	Entdeckungswahrscheinlichkeit	Bewertungskriterien
10	keine	Der Fehler wird nicht entdeckt oder kann nicht entdeckt werden, da kein Prüfverfahren festgelegt bzw. kein Prüfverfahren bekannt ist.
9	Sehr gering	Prüfergebnis unsicher bzw. keine Erfahrung mit dem festgelegten Prüfverfahren.
8		
7	Gering	Prüfverfahren noch nicht bewährt bzw. wenig Erfahrung mit dem festgelegten Prüfverfahren.
6		
5	Mäßig	Bewährtes Prüfverfahren aus vergleichbaren Prozessen unter neuen Einsatz-/Randbedingungen. (Maschinen, Material)
4		
3	Hoch	Bewährtes Prüfverfahren. Die geforderte Fähigkeit dieses Prüfprozesses ist bestätigt.
2		
1	Sicher	Es ist sichergestellt, dass der Fehler entdeckt wird.

2020-04-06 - SOCCOS



Anhang 2 Deckblatt

 <p>BOSCH QUALITÄTSSICHERUNG</p>	<p>Deckblatt</p> <p>Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse</p>			<p>FMEA-Nr.: ABC-123 FMEA Seiten: Ausgabe: 1 Datum: 30.11.2006</p>
<p>Verteiler: Abteilungen/Mitarbeiter, welche die FMEA zur Projektarbeit benötigen Der FMEA- Verteiler wird GB-spezifisch festgelegt</p>	<p>Erzeugnis: [wird aus der Struktur übernommen] Typteile-Nummer: [wird aus der Struktur übernommen] Kunde:</p>			
<p>Originalablage: Ort der Original-Ablagenverwaltung</p>	<p>1. Aufgabe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grund der FMEA-Erstellung, wie neues Erzeugnis und/oder Verfahren, Änderungen am Erzeugnis und/oder Verfahren, etc. • Betrachtungsumfang • ggf. GB-Vereinbarung bei GB-übergreifenden Projekten • Hinweis auf mitgeltende FMEA <p>2. Ergebnis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resultate aus der Analyse wie Highlights, Top-Risiken wie Anzahl der Besonderer Merkmalen, Auswertungen • Berechtigte Angaben über eventuelle Nichtberücksichtigung von RB- oder GB FMEA-Regeln s. Anlagen • Beschreibung der intern festgelegten und mit dem Kunden vereinbarten "Besondere Merkmale" auch Verweis auf separate Liste, mit Erläuterung <p>3. Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der definierten Maßnahmen • Auffälligkeiten der einzuführenden Maßnahmen • Anzahl der offenen Maßnahmen • Abschluss aller Maßnahmen 			
<p>FMEA-Arbeitsgruppe: Alle Teammitglieder ohne Moderator</p>	<p>4. Anlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formblätterauflistung der beiliegenden FMEA-Auswertungen (Häufigkeitsanalyse und Terminplan) • Verweis auf Bezugs-FMEA • Auflistung der Dokumente (z.B. Zeichnungen, Normen) die für das Verständnis der FMEA notwendig sind • abweichende Bewertungskataloge • Vereinbarung mit dem Kunden, Ausfallzahlen, etc. <p>5. Bemerkungen (optional):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erläuterungen zu oben aufgeführten Punkten. 			
Erstellung	Zustimmung			Durchführung
<p>Moderator</p> <p>Name: Abt.: Datum: Unterschrift:</p>	<p>Abt.: Datum: Unterschrift:</p>	<p>Abt.: Datum: Unterschrift:</p>	<p>Abt.: Datum: Unterschrift:</p>	<p>Verantwortlicher Abt.-Leiter</p> <p>Abt.:</p>
<p>Ansprechpartner d.AG</p> <p>Name: Abt.: Datum: Unterschrift:</p>	<p>Abt.: Datum: Unterschrift:</p>	<p>Abt.: Datum: Unterschrift:</p>	<p>Abt.: Datum: Unterschrift:</p>	<p>Sachbearbeiter für Verfolgung und Aktualisierung</p> <p>Name: Abt.:</p>

(C) Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

2020-04-06 - SOCOS



Anhang 3 Checkliste für Contracting

Teilnehmer Contracting:	am	Name				
		Abteilung				

1. Auftragsrahmen

Produkt- oder Prozess-FMEA / Projekt	
Abrechnungs-Nr. (Entwicklungsauftrag, PSP-Element)	
Projektspezifische Rahmentermine (z. B. QGs, Designfreeze, SOP, ...)	(Terminplan mit FMEA Terminen als Anlage)
Startzeitpunkt der FMEA	
Termine für interne und externe Präsentationen	
Geschätzter Zeitbedarf (inkl. Vor-/Nachbereitung, z.B. in Stunden)	
Sprache (FMEA-Moderation, -Dokumentation, -Übersetzung)	

2. Festlegung des Betrachtungsumfangs der FMEA

Betrachtungsumfang (z.B. Abgrenzung, Verantwortlichkeiten, interne/externe Schnittstellen, Analysetiefe, Priorisierung)
Aufgabenbeschreibung (z.B. Neuerstellung, Variante zu bestehender FMEA, Schnittstelle zu anderen FMEA, Aktualisierung, Detailanalyse, ...)
Randbedingungen (z.B. Einsatz/Abstimmung mit weiteren Methoden wie QFD, FTA, DRBFM ...)

3. FMEA-Arbeitsgruppe (Teamzusammensetzung siehe Heft 14 bzw. Verfahrensanweisungen der GB)

Name	Abteilung	Aufgabe (Rolle) im Team
		Moderator
		Ansprechpartner der Arbeitsgruppe

2020-04-06 - SOCCOS



4. FMEA-Anforderungen und –Arbeitsunterlagen

Anforderung	Bemerkung	Vorhanden / Erforderlich?		
		Ja (Dokument)	Nicht er- forderlich	Nein (Liegt vor bis)
Spezifische Kundenforderung zur FMEA Methodik		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spezifische Kundenforderung Bewertungstabellen		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spezifische Kundenforderung RPZ-Limits		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Liste Besonderer Merkmale intern/extern		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abstimmung Fehlerfolgen inkl. B-Bewertungen mit Kunde		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abstimmung der Bewertungskataloge zwischen Kunde und Bosch (Referenztable)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kundenlastenheft, bestätigte TKU		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pflichtenheft		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stücklisten und Zeichnungen		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ablaufplan / Blockdiagramm / Prozessflussplan / Control Plan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arbeitsplan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Annahme FMEA-Contracting

Ja	Nein (Begründung)	Wiedervorlage bis
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ort/Datum

Projektleiter (Auftraggeber)

FMEA-Moderator



Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Anhang 4 Checkliste zur Beurteilung (Beispiel)

Produkt/Prozess: _____ FMEA-Nr.: _____
 SOP: _____
 Bemerkungen: _____

Teil 1 (nach der Erstellung)

0	Organisation	erledigt Ja/Nein*	Bemerkungen/Begründung
0.1	Betrachtungsumfang und Aufgabenstellung der Analyse definieren.		siehe auch ggf. Contracting dokumentiert im Deckblatt
0.2	FMEA-Team gem. CDQ 0305 Punkt 3.1.2 festlegen.		siehe auch ggf. Contracting dokumentiert im Deckblatt
0.3	FMEA entsprechen dem aktuellen Stand der Produktentwicklung/ Prozessplanung erstellen.		Referenzdokumente mit Stand im Deckblatt angeben?
0.4	FMEA in der Datenbank anlegen und die Dateien (-fme und -xml) einstellen.		falls Datenbank vorhanden
1	Systemstruktur		Bemerkungen/Begründung
1.1	Anforderungen überprüfen auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit.		Lastenhefte, Zeichnungen, Funktionsbeschreibungen, Auslegungspläne, Struktur, usw.;
1.2	Struktur entsprechend festgelegtem Betrachtungsumfang und -tiefe erstellen		Begründung für reduzierten Umfang/Tiefe erforderlich; Selektionskriterien, z.B. Schwerpunktanalyse beschreiben, falls angewendet
2	Funktionsanalyse		Bemerkungen/Begründung
2.1	Funktionen einzeln benennen. Funktionswichtige Parameter mit konkreten Werten und Toleranzen versehen bzw. wird auf diese verweisen.		Funktionen sind mit Substantiv und Verb sowie Objekt zu beschreiben Verweise auf Zeichnungen, Lastenhefte, usw. erforderlich.
2.2	Funktionen logisch miteinander verknüpfen.		Funktionsbäume/Funktionsnetze erstellt
3	Fehleranalyse		Bemerkungen/Begründung
3.1	Funktionen mehrere Fehlfunktionen zuordnen.		Nur die Negation der Funktion ist meistens zu wenig. (teilweise, ungewollte sowie intermittierende Funktion betrachten)
3.2	Fehlfunktionen nachvollziehbar beschreiben.		Plus- und Minustoleranzen einzeln aufzuführen, wenn sich unterschiedliche Fehlerfolgen ergeben.
3.3	Fehlfunktionen logisch miteinander verknüpfen.		Fehlernetze erstellt
3.4	Tatsächliche Fehlerursachen (Rootcause, 5 x Why) betrachten.		
3.5	Grundsätze der „Juristischen Aspekte“ beachten (C/LSK-Schreiben „FMEA-Juristische Aspekte“)?		Juristische Aspekte https://inside.ws.bosch.com/FIRSTspiritWeb/bermlink/wcms_corpfunc_Guidelines_Information-DE
4/5	Risikoanalyse/Optimierung		Bemerkungen/Begründung
4.1	Bewertungskataloge für Bedeutung, Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit anwenden.		Dokumentation abweichender Bewertungskataloge; ohne Maßnahmen sind A und E mit 10 zu bewerten
4.2	Gleiche Fehlerfolgen mit gleicher Bedeutung (B) im betrachteten System bewerten.		Bewertungsmaßstäbe durchgängig anwenden
4.3	Bedeutung der Fehlerfolge für das betrachtete Produkt/Prozess bewerten und bei Bedarf mit dem Kunden abstimmen.		
4.4	Kriterien zur Einführung von Verbesserungsmaßnahmen einhalten.		
4.5	Vermeidungs-/ Entdeckungsmaßnahmen auf Wirksamkeit prüfen und den Bezug zu den Dokumenten nachvollziehbar beschreiben.		Berichte, Erprobungsberichte, usw
4.6	Für geplante Maßnahmen Verantwortliche und Termine benennen.		
4.7	Vom Kunden geforderte Besondere Merkmale in die FMEA eingearbeiten und kennzeichnen.		
4.8	Besondere Merkmale wurden nach CDQ0306 identifizieren und in der FMEA dokumentieren.		

* Bei "nein" ist eine Begründung erforderlich!

Ort/Datum _____ Unterschrift: _____ Projektleiter _____ Ansprechpartner der Arbeitsgruppe _____ FMEA-Moderator _____

Teil 2 (nach der Erprobung)

6	Aktualisierung	erledigt Ja/Nein*	Bemerkungen/Begründung
6.1	Beschlossene Maßnahmen termingerecht umsetzen.		
6.2	Wirksamkeit der Maßnahmen nach der Erprobung überprüfen.		
6.3	Bei negativen Ergebnisse neue Maßnahmen definieren.		
6.4	FMEA im geforderten Zeitrahmen aktualisieren.		Aktualisierung entsprechend PEP bzw. CDQ0304, CDQ0305 Punkt 3.4


* Bei "nein" ist eine Begründung erforderlich!


Ort/Datum _____ Unterschrift: _____ Projektleiter _____ Ansprechpartner der Arbeitsgruppe _____ FMEA-Moderator _____



Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Anhang 5 FMEA Beispiele „Sauberkeitskonzept“

 BOSCH		KONSTRUKTIONS-FMEA							SEITE: 1/1				
QUALITÄTSSICHERUNG		ERZEUGNIS: Beispiel für Heft14 SACH-NR: 012345							ABT.: GS/XY FMEA-NR.: Y 123 456 DATUM: 11.05.2011				
NR.	KOMPONENTE PROZESS	FUNKTION	FEHLER- ART	FEHLER- FOLGE	K	FEHLER- URSACHE	FEHLER- VERMEIDUNG	FEHLER- ENTDECKUNG	B	A	E	RPZ	MASSNAH- MEN V:/T:
040010	Ventil komplett	Spraygeometrie nach TKU 267356 erzeugen	Strahlwinkel außerhalb Toleranz	Abgas außer Tol. mit Fahrerwarnung		Eingespülte Partikel aus Leitungssystem beschädigen den Ventilsitz	Filtersieb mit 12 Maschen pro µm ² am Ventilanschluss	Analyse der Funktionsmuster aus Musterbau nach Schmutzdauerlauf (Erprobungsblatt EB383) Ergebnisse: Dauerlauf wurden durchgeführt. Bei A-Mustern keine erhöhten Ausfälle durch Partikel im Sitz.	9	3	6	[162]	
								Sauberkeits-Prüfvorschrift (PV F00V_H00_472) für die Einzelteile der Ventilgruppe (Partikelverteilung, Eingriffsgrenzen) festgelegt T: 01.03.2011	9	3	6	[162]	
								Sauberkeitsniveau bei Herstellung der Einzelteile in Prüfmethodenblatt mit Werk-QMM definieren und abstimmen T: 14.05.2011	9	3	6	162	

 BOSCH		Prozess-FMEA							SEITE: 1/1				
QUALITÄTSSICHERUNG		ERZEUGNIS: Beispiel für Heft14 ARBEITSGANG-NR: 1010							ABT.: Fertigungsplanungsabteilung XY FMEA-NR.: GW 1234 DATUM: 10.03.2011				
NR.	KOMPONENTE PROZESS	FUNKTION	FEHLER- ART	FEHLER- FOLGE	K	FEHLER- URSACHE	FEHLER- VERMEIDUNG	FEHLER- ENTDECKUNG	B	A	E	RPZ	MASSNAH- MEN V:/T:
200.1010.1	Station 200 Ultraschallreinigungsbad (Tauchwaschanlage)	AG 1010 Teile in Waschrahmen (Reihenrost oder Steckrahmen) von anhaftenden Partikeln reinigen: -Ventilgehäuse -Gehäusedeckel -Ausgleichring	Restschmutzmenge größer als 3 Partikel pro cm ²	Leckage am Ventilsitz >> Abgasgrenzwerte außer Toleranz mit Fahrerwarnung		Badverschmutzung (Medium und Badoberfläche)	Eingriffsgrenzen und Medium in Wartungsplan Nr. A9468 für Anlage festgelegt Mediumfiltration mit Filterüberwachung (Magnetkerzen...) VE-Wasser Kaskade Integrierte Ölabscheidung in Reinigungsbad Verfahren und Einstelldaten in RA 1218 mit Berücksichtigung von VDA Band 19 festgelegt	5 Teile pro Schicht nach Waschen auf Sauberkeit prüfen gemäß PV 740237 Regelmäßiges Monitoring des Reinigungsmediums nach Prüfmethodenblatt Nr. 26943 100% autom. Dichtheitsprüfungen	9	2	3	54	
200.1010.2		Grenzen: - Partikeln größer als 12µm - Erlaubte Restschmutzmenge: 3 Partikel pro cm ² - ölfrei Bedingungen: Reinigung gemäß Waschprogramm der einzelnen Teile (Reinigungszeit, Mediumtemperatur, Ultraschallfrequenz)				Teilspezifisches Waschprogramm wechselt	MA-Unterweisung nach Einarbeitungsplan EP952 Überprüfung des eingestellten Waschprogramms durch 4 - Augenprinzip (Bediener und Einsteller)	5 Teile pro teilspezifischer Waschablauf auf Sauberkeit prüfen gemäß PV 740237 100% autom. Dichtheitsprüfungen	9	2	3	54	
200.1010.3						Konzentration des Reinigungsmediums abweichend von der Spezifikation (Siehe RA 1218)	Nachdosierung der Bäder bei Bedarf nach wöchentlicher Kontrolle der Konzentration des Mediums	Stichprobeprüfung der Konzentration des Reinigers (Titration) nach PV 740237	9	1	8	72	
200.1010.4						Teile nicht entmagnetisiert (Defekt am Gerät)	Entmagnetisiergerät überprüft (regelmäßig) MA-Unterweisung nach Einarbeitungsplan EP952	5 Teile pro teilspezifischer Waschablauf auf Sauberkeit prüfen gemäß PV 740237 100% autom. Dichtheitsprüfungen	9	2	3	54	
200.1010.n						und weitere Ursachen.....			9				



