

# FMEA

---

**F**ehler-

**M**öglichkeiten und

**E**influss

**A**nalyse

**F**ailure

**M**ode and

**E**ffects

**A**nalysis

# Ziele der FMEA

---

FMEA = analytische Methode der präventiven Qualitätssicherung

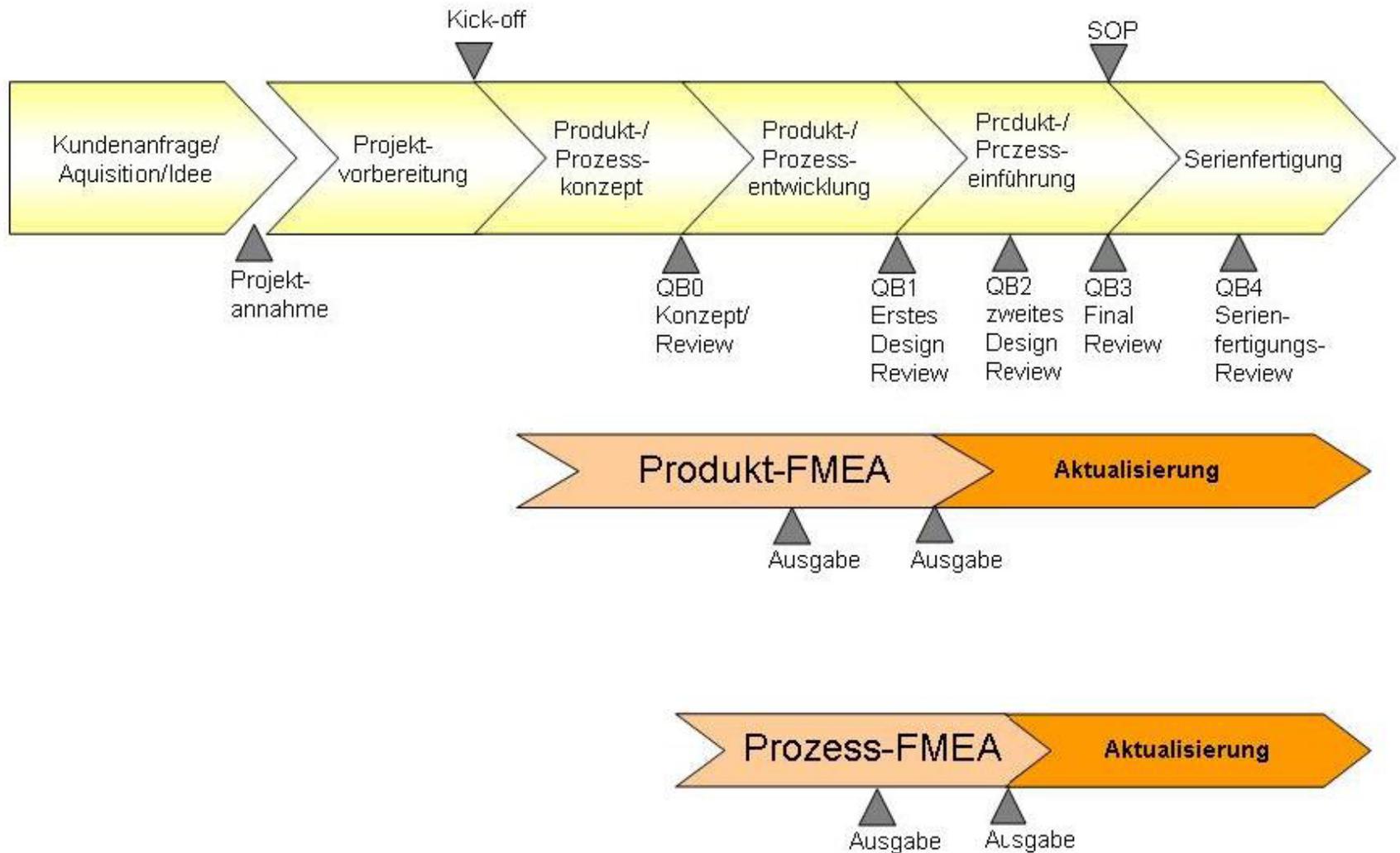
Dient dazu:

- Potentielle Schwächen zu ermitteln,
- diese zu bewerten und
- geeignete Maßnahmen zur Fehlervermeidung bzw. -entdeckung rechtzeitig einzuleiten

# Geschichte der FMEA

---

- Methode wurde Mitte der 60er Jahre bei dem Apollo-Projekt (USA) entwickelt
- Erste Anwendung in Luft-, Raumfahrt- und Kerntechnik → jetzt auch in Automobilindustrien (z.B. BOSCH) und anderen Bereichen



Zeitliche Einbindung der FMEA in den Produktentstehungsprozess

Quelle: Bosch-Schriftenreihe: FMEA S. 8

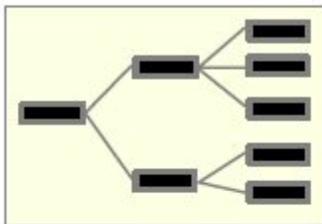
# Erstellung der FMEA Schritt 1 - 5

## Struktur- und Funktionsanalyse

## Risikoanalyse und Maßnahmen

### 1. Schritt

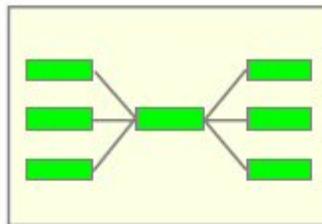
Strukturanalyse



- Erfassen und Strukturieren der beteiligten Elemente
- Struktur erstellen

### 2. Schritt

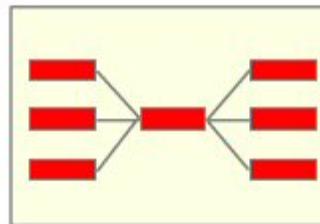
Funktionsanalyse



- Funktionen den Strukturelementen zuordnen
- Funktionen verknüpfen

### 3. Schritt

Fehleranalyse



- Fehlfunktionen den Funktionen zuordnen
- Fehlfunktionen verknüpfen

### 4. Schritt

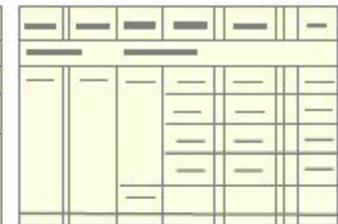
Maßnahmenanalyse



- Dokumentation der aktuellen Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen
- Bewerten des aktuellen Standes

### 5. Schritt

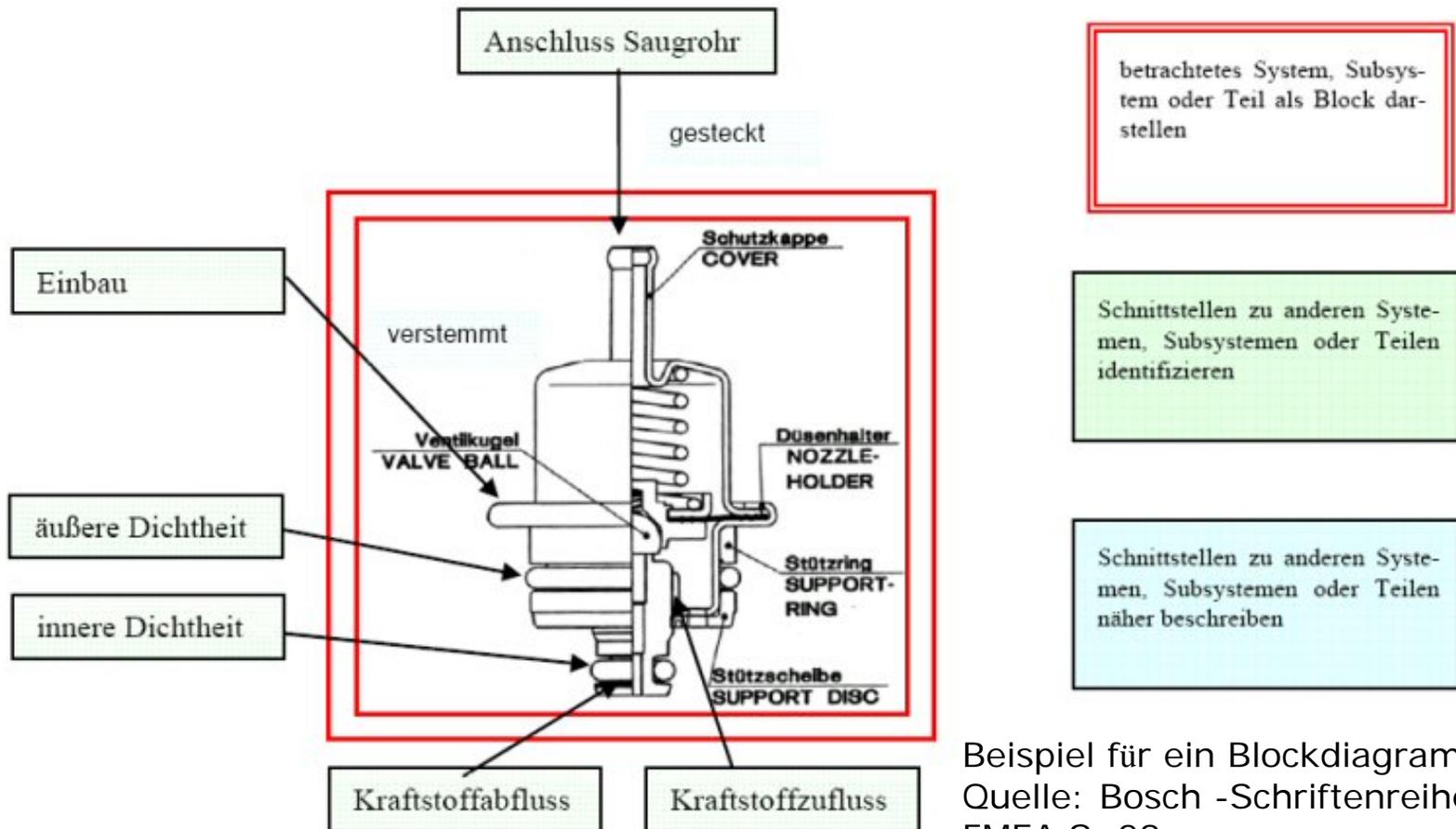
Optimierung



- Risiko mit weiteren Maßnahmen mindern
- Bewertung des geänderten Standes

Die 5 Schritte zur Erstellung der FMEA  
Quelle: Bosch -Schriftenreihe: FMEA S. 13

# Beispiel für die Erstellung von Produkt- und Prozess-FMEAs anhand eines Druckreglers



Beispiel für ein Blockdiagramm  
Quelle: Bosch -Schriftenreihe:  
FMEA S. 28

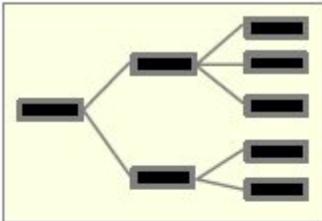
# Erstellung der FMEA Schritt 1 - 5

## Struktur- und Funktionsanalyse

## Risikoanalyse und Maßnahmen

### 1. Schritt

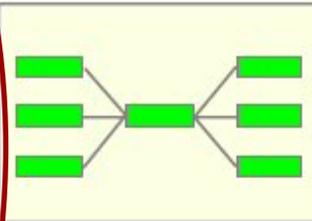
Strukturanalyse



- Erfassen und Strukturieren der beteiligten Elemente
- Struktur erstellen

### 2. Schritt

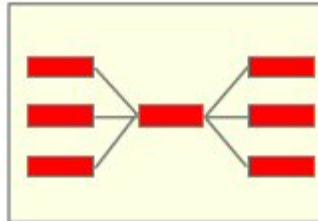
Funktionsanalyse



- Funktionen den Strukturelementen zuordnen
- Funktionen verknüpfen

### 3. Schritt

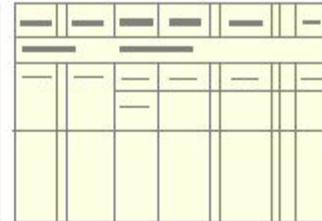
Fehleranalyse



- Fehlfunktionen den Funktionen zuordnen
- Fehlfunktionen verknüpfen

### 4. Schritt

Maßnahmenanalyse



- Dokumentation der aktuellen Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen
- Bewerten des aktuellen Standes

### 5. Schritt

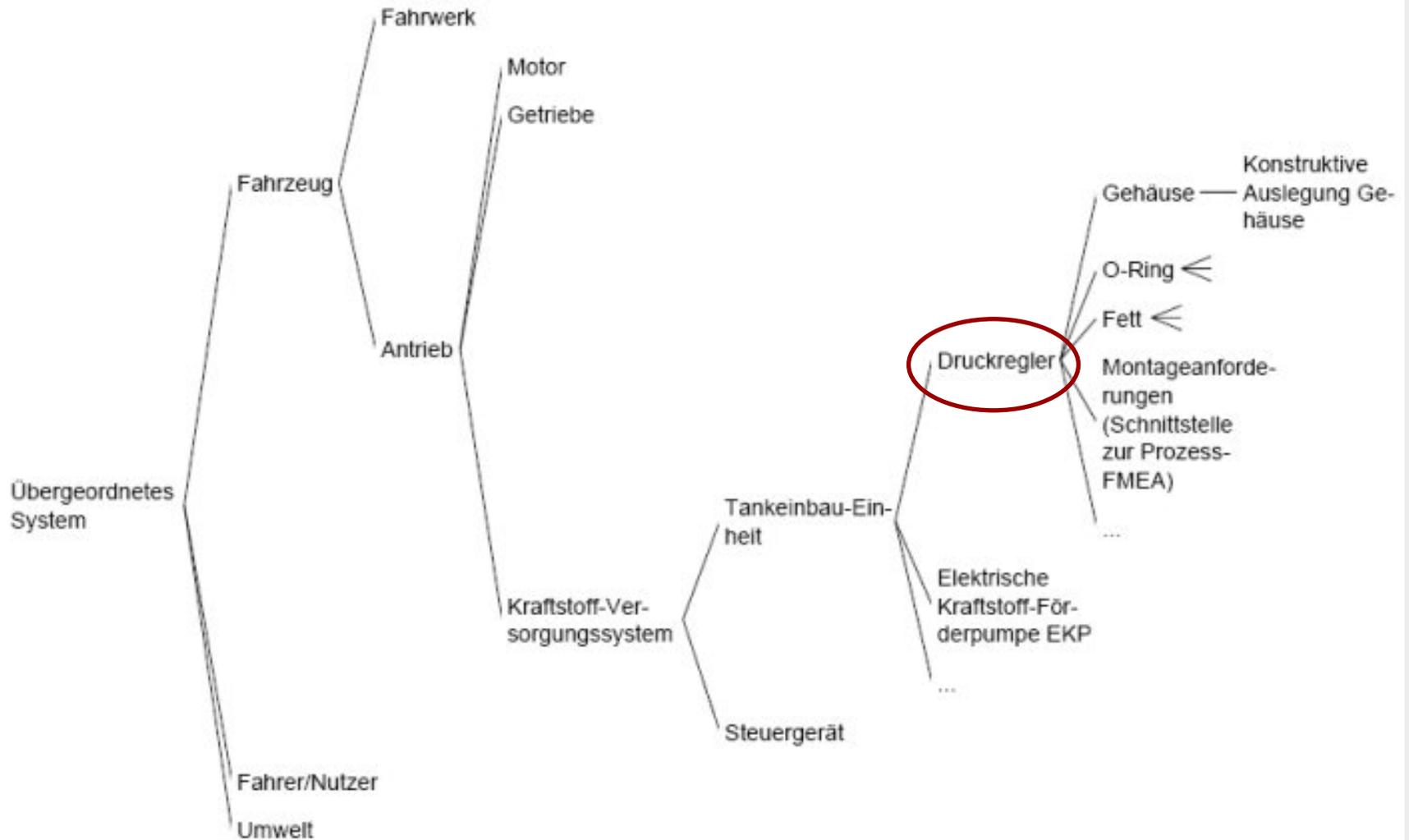
Optimierung



- Risiko mit weiteren Maßnahmen mindern
- Bewertung des geänderten Standes

Die 5 Schritte zur Erstellung der FMEA

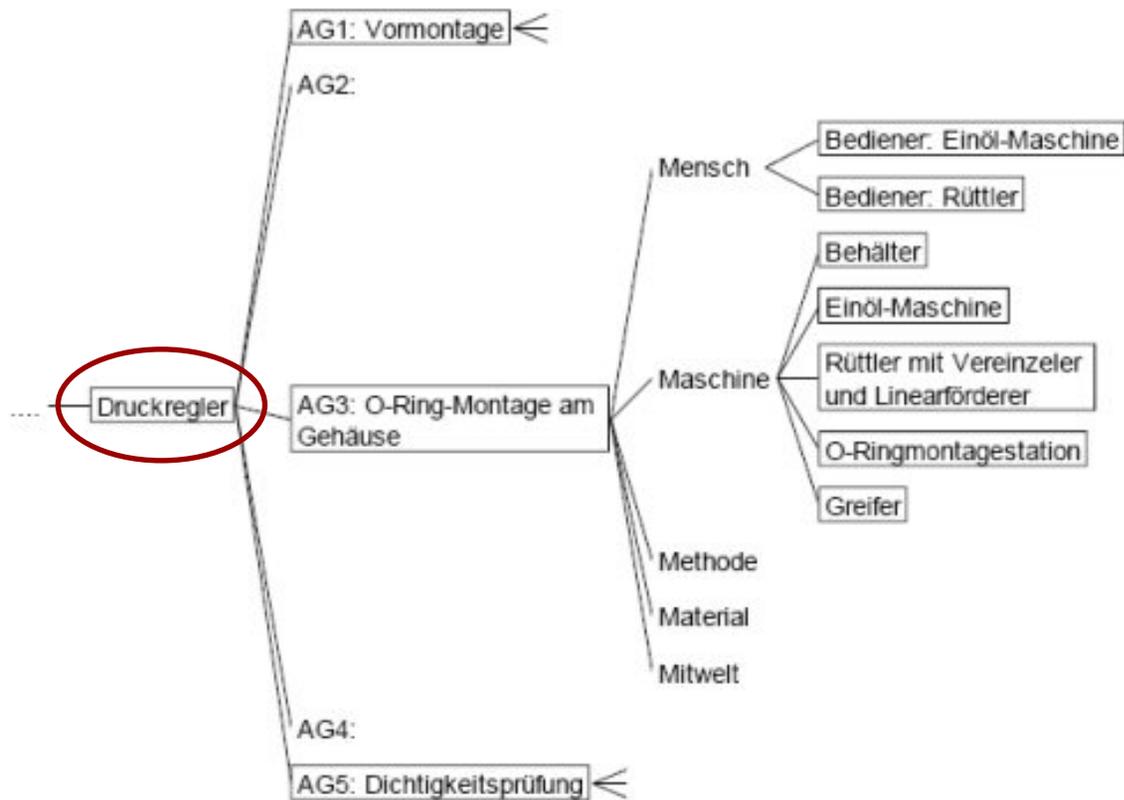
Quelle: Bosch -Schriftenreihe: FMEA S. 13



Detaillierungsgrad vom Wurzelement bis zum Ursachenelement

Gesamtstruktur des Produkts

Quelle: Bosch -Schriftenreihe: FMEA S. 29



Detailierungsgrad vom Wurzelement bis zum Ursachenelement

# Erstellung der FMEA Schritt 1 - 5

## Struktur- und Funktionsanalyse

## Risikoanalyse und Maßnahmen

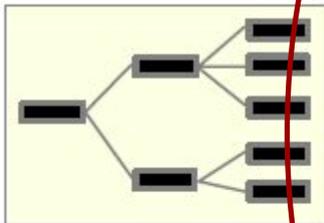
**1. Schritt**  
Strukturanalyse

**2. Schritt**  
Funktionsanalyse

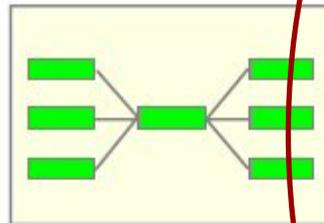
**3. Schritt**  
Fehleranalyse

**4. Schritt**  
Maßnahmenanalyse

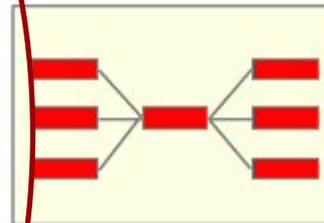
**5. Schritt**  
Optimierung



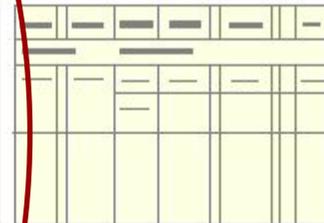
- Erfassen und Strukturieren der beteiligten Elemente
- Struktur erstellen



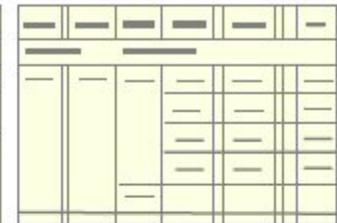
- Funktionen den Strukturelementen zuordnen
- Funktionen verknüpfen



- Fehlfunktionen den Funktionen zuordnen
- Fehlfunktionen verknüpfen



- Dokumentation der aktuellen Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen
- Bewerten des aktuellen Standes



- Risiko mit weiteren Maßnahmen mindern
- Bewertung des geänderten Standes

Die 5 Schritte zur Erstellung der FMEA

Quelle: Bosch -Schriftenreihe: FMEA S. 13

⇐ Fehlerfolge(n)	mögl. Fehler	Fehlerursache
------------------	--------------	---------------

Unter der jeweiligen Betrachtungseinheit steht der „mögliche Fehler“.

Tankeinbau-Einheit  
Kraftstoffmenge bei 4 bar fördern (Kurzzeitbetrieb)  
Kraftstoffmenge im Kurzzeitbetrieb zu gering

Tankeinbau-Einheit  
Kraftstoffmenge bei 3,5 bar fördern (Langzeitbetrieb)  
Kraftstoffmenge im Langzeitbetrieb zu gering

Druckregler  
Kraftstoffdruck konstant halten  
Kraftstoffdruck kleiner 2,8 bar

Gehäuse  
Schnittstellen zu benachbarten Bauteilen  
Dichtfläche zum O-Ring nicht abgestimmt

O-Ring  
Formgestaltfestigkeit des O-Rings  
O-Ring überdehnt

O-Ring  
Formgestaltfestigkeit des O-Rings  
O-Ring aufgequollen (Beschädigung des O-Ring durch Spaltextrusion)

O-Ring  
Formgestaltfestigkeit des O-Rings  
Kraftstoff durch O-Ring diffundiert

Montageanforderungen (Schnittstelle zur Prozess-FMEA)  
beschädigungsfreie Montage des O-Ring im Gehäuse ermöglichen  
O-Ring stülpt sich auf und kann beschädigt werden

Konstruktive Auslegung Gehäuse  
Durchmesser  
Durchmesser > 24,9 mm

Konstruktive Auslegung Gehäuse  
Übergangsradien  
Übergangsradien scharfkantig

Konstruktive Auslegung Gehäuse  
Schräge Nutgrund  
Schräge > 5°

Material (O-Ring)  
Mikroharte  
Mikroharte > 75 IRHD

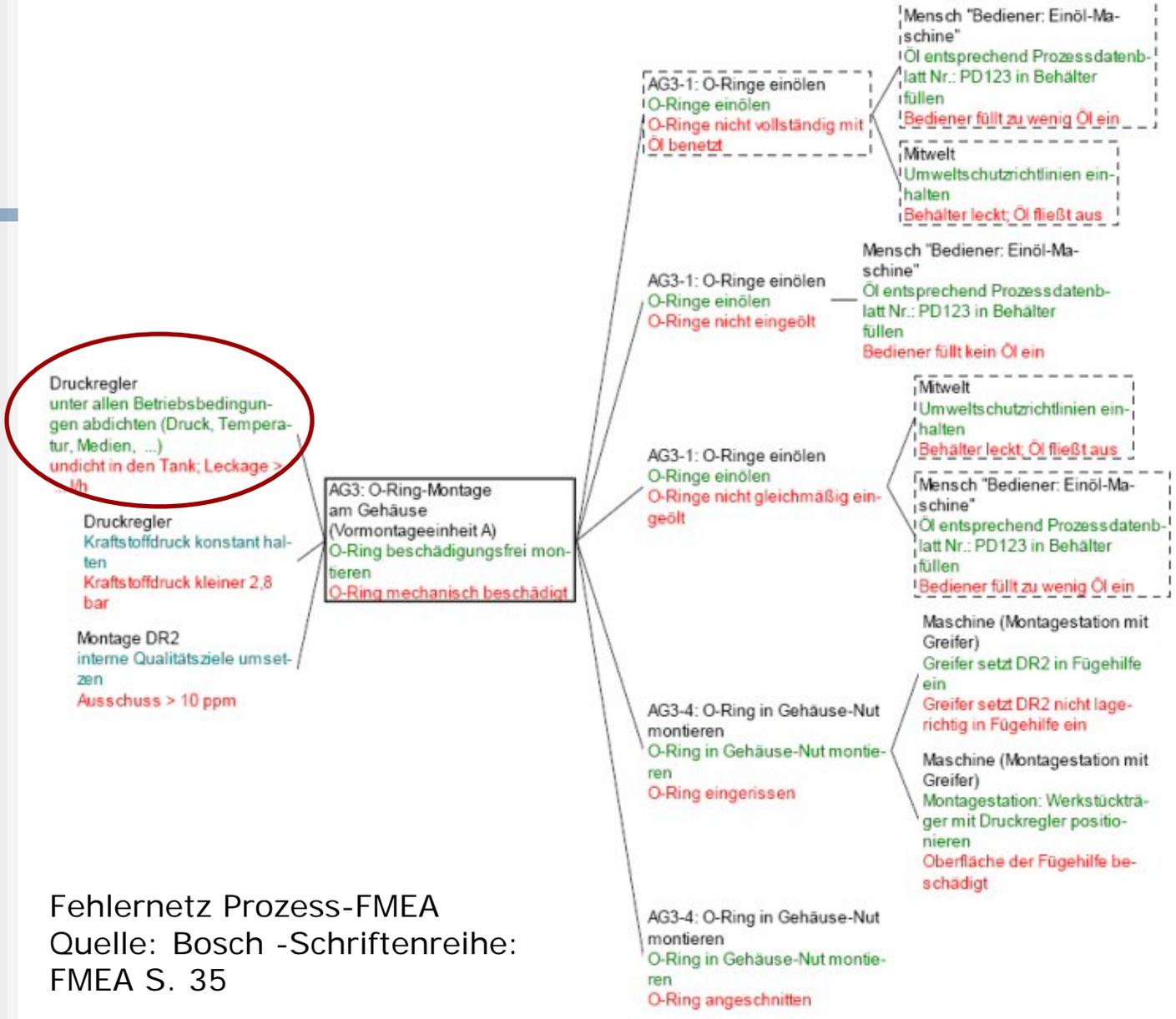
Material (O-Ring)  
Temperaturbeständig  
Material nicht temperaturbeständig bis 110 Grad für x min

Material (O-Ring)  
Beständig gegen Methanol bis 15 % Vol  
nicht ausreichend beständig gegen Methanol

Material (O-Ring)  
Mikroharte

Fehlernetz Produkt-FMEA  
Quelle: Bosch -Schriftenreihe:  
FMEA S. 34

⇐ Fehlerfolge(n)	mögl. Fehler	Fehlerursache
------------------	--------------	---------------



Fehlernetz Prozess-FMEA  
 Quelle: Bosch -Schriftenreihe:  
 FMEA S. 35

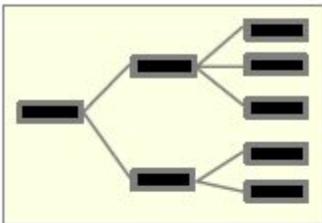
# Erstellung der FMEA Schritt 1 - 5

## Struktur- und Funktionsanalyse

## Risikoanalyse und Maßnahmen

### 1. Schritt

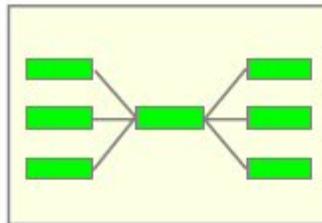
Strukturanalyse



- Erfassen und Strukturieren der beteiligten Elemente
- Struktur erstellen

### 2. Schritt

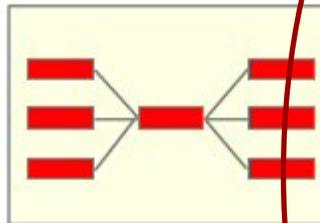
Funktionsanalyse



- Funktionen den Strukturelementen zuordnen
- Funktionen verknüpfen

### 3. Schritt

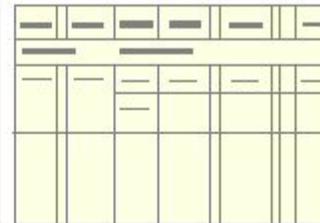
Fehleranalyse



- Fehlfunktionen den Funktionen zuordnen
- Fehlfunktionen verknüpfen

### 4. Schritt

Maßnahmenanalyse



- Dokumentation der aktuellen Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen
- Bewerten des aktuellen Standes

### 5. Schritt

Optimierung



- Risiko mit weiteren Maßnahmen mindern
- Bewertung des geänderten Standes

Die 5 Schritte zur Erstellung der FMEA  
Quelle: Bosch -Schriftenreihe: FMEA S. 13

# Maßnahmenanalyse und Festlegung von besonderen Merkmalen

---

- Bedeutung (B)
- Auftretenswahrscheinlichkeit (A)
- Fehlerentdeckung (E)
  
- Risikoberechnung mit Hilfe der Risikoprioritätszahl (RPZ)

$$RPZ = B \times A \times E$$

Bewertung	Bedeutung (B)	Auftrittswahrscheinlichkeit (A)			Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)		Bewertung
		Beschreibung	p(A)	c <sub>pk</sub>	Beschreibung	p(E)	
10	Gefährdung, Verstoß gegen Gesetze	Fehler nahezu sicher; zahlreiche Fehler mit gleichen oder ähnlichen Konstruktionen bekannt	>30%	<0,33	Keine Entdeckungsmaßnahmen bekannt oder geplant	<90%	10
9	Gefährdung, Verstoß gegen Gesetze möglich	Sehr große Zahl von Fehlern wahrscheinlich	Bis 30%	≥0,33	Entdeckung möglich aber unsicher	90%	9
8	Totaler Funktionsausfall, Kunde sehr verärgert	Große Zahl von Fehlern wahrscheinlich	Bis 10%	≥0,51	Sehr geringe Wahrscheinlichkeit		8
7	Funktionen stark eingeschränkt, Kunde verärgert	Mäßig große Zahl von Fehlern wahrscheinlich	Bis 5%	≥0,67	Geringe Wahrscheinlichkeit einer Entdeckung	98%	7
6	Ausfall einzelner Hauptfunktionen, Kunde, ziemlich verärgert	Mittlere Zahl von Fehlern wahrscheinlich	Bis 1%	≥0,83	Nahezu mittlere Wahrscheinlichkeit der Entdeckung		6
5	Mäßige Einschränkung des Gebrauchsnutzens, Kunde etwas verärgert	Gelegentliche Fehler wahrscheinlich	Bis 0,3%	≥1,00	Mittlere Wahrscheinlichkeit der Entdeckung		5
4	Gebrauchsnutzen wenig eingeschränkt, Kunde verdrossen	Wenige Fehler wahrscheinlich	Bis 500 ppm	≥1,17	Mäßig hohe Wahrscheinlichkeit der Entdeckung	99,7%	4
3	Gebrauchsnutzen geringfügig eingeschränkt, Kunde leicht verdrossen	Sehr wenige Fehler wahrscheinlich	Bis 60 ppm	≥1,33	Hohe Wahrscheinlichkeit der Entdeckung		3
2	Auswirkung sehr gering, Kunde kaum berührt	Fehler selten	Bis 7ppm	≥1,50	Sehr hohe Wahrscheinlichkeit der Entdeckung	99,9%	2
1	Kunde bemerkt Auswirkungen nicht	Fehler unwahrscheinlich, ähnliche Konstruktionen bisher ohne Fehler.	Bis 0,6 ppm	≥1,67	Nahezu sichere Entdeckung	99,99%	1

**Legende**    p: Wahrscheinlichkeit    c<sub>pk</sub>: Prozessfähigkeit    ppm: parts per million

Bewertungskriterien für die Bedeutung der Fehlerfolge (B), die Auftrittswahrscheinlichkeit (A) und die Wahrscheinlichkeit des Entdeckens (E)

Quelle: [http://www.quality-link.de/html/body\\_toolbox\\_.htm](http://www.quality-link.de/html/body_toolbox_.htm)

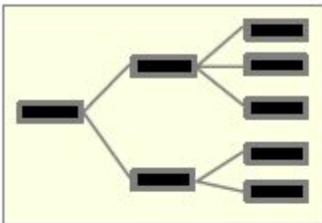
# Erstellung der FMEA Schritt 1 - 5

## Struktur- und Funktionsanalyse

## Risikoanalyse und Maßnahmen

### 1. Schritt

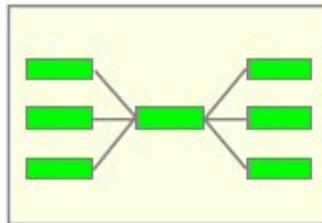
Strukturanalyse



- Erfassen und Strukturieren der beteiligten Elemente
- Struktur erstellen

### 2. Schritt

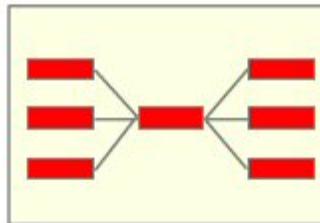
Funktionsanalyse



- Funktionen den Strukturelementen zuordnen
- Funktionen verknüpfen

### 3. Schritt

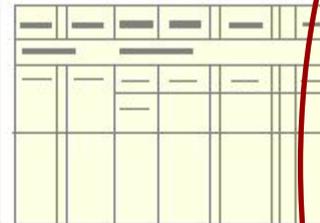
Fehleranalyse



- Fehlfunktionen den Funktionen zuordnen
- Fehlfunktionen verknüpfen

### 4. Schritt

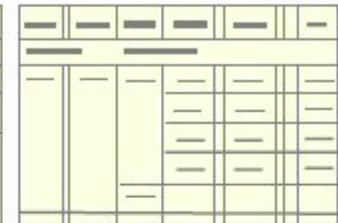
Maßnahmenanalyse



- Dokumentation der aktuellen Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen
- Bewerten des aktuellen Standes

### 5. Schritt

Optimierung



- Risiko mit weiteren Maßnahmen mindern
- Bewertung des geänderten Standes

Die 5 Schritte zur Erstellung der FMEA  
Quelle: Bosch -Schriftenreihe: FMEA S. 13

**BOSCH**

QUALITÄTSSICHERUNG

**Produkt-FMEA**

ERZEUGNIS: Druckregler

SACH-NR: DR2

SEITE: 1/2

ABT.: Entwicklung

FMEA-NR.: DR2\_001

DATUM: 04.11.2005

NR.	KOMPONENTE PROZESS	FUNKTION	FEHLER- ART	FEHLER- FOLGE	K	FEHLER- URSACHE	FEHLER- VERMEIDUNG	FEHLER- ENTDECKUNG	B	A	E	RPZ	MASSNAH- MEN V./T:
DR2.00-01	Druckregler	Kraftstoffdruck konstant halten = 3 bar ± 0,2	Kraftstoffdruck kleiner 2,8 bar	Kraftstoffmenge im Kurzzeitbetrieb zu gering		Dichtfläche zum O-Ring nicht abgestimmt	Konstruktion nach N31B/NR5 und Einbauvorschlag O-Ring Hersteller	Druckschwellprüfung mit Grenzmustern und überlagerter Temperaturwechsel (Bericht 123/04)	10	1	1	10	KEINE
				B: 8 >> max. Motorleistung kurzzeitig nicht verfügbar									
				Kraftstoffmenge im Langzeitbetrieb zu gering									
DR2.00-02				B: 10 >> Motor liefert nicht die gewünschte Leistung (Leistungsminde- rung > 15%)	pSG	O-Ring überdehnt	Konstruktion nach N31B/NR5 und Einbauvorschlag O-Ring Hersteller	Montageversuche im Werk (Bericht 234/05) Ergebnis Montageversuche: Dehnung bei Montage bei 50% der zulässigen Dehnung	10	2	3	60	

Formblatt Produkt-FMEA, Betrachtung „Druckregler“

Quelle: Bosch -Schriftenreihe: FMEA S. 35

 <b>BOSCH</b> QUALITÄTSSICHERUNG		<b>Prozess-FMEA</b> ERZEUGNIS: AG3: O-Ring-Montage am Gehäuse (Vormontageeinheit A) SACH-NR: DR2								SEITE: 1/3 ABT.: Fertigung FMEA-NR.: DR2_P001 DATUM: 09.12.2005			
NR.	KOMPONENTE PROZESS	FUNKTION	FEHLER-ART	FEHLER-FOLGE	K	FEHLER-URSACHE	FEHLER-VERMEIDUNG	FEHLER-ENTDECKUNG	B	A	E	RPZ	MASSNAHMEN V:/T:
1.1.1.3.- 1.1.c.3	AG3-1: O-Ringe einölen	O-Ringe einölen	O-Ringe nicht vollständig mit Öl benetzt	O-Ring klemmt in der Rüttlerzuführung		Bediener füllt zu wenig Öl ein	Befüllung der Anlage gemäß Arbeitsfolgekarte	Füllstandsanzeige an der Dosiereinrichtung	10	3	6	180	
				O-Ring mechanisch beschädigt					Dosiereinrichtung				
				B: 10 >> Kraftstoffdruck kleiner 2,8 bar					10	2	6	(120)	Prozessoptimierung mittels Design of Experiments (DoE) V: Müller, Fertigung T: 23.12.2005
				B: 6 >> Ausschuss > 10 ppm									
1.1.1.3.- 1.5.a.1						Behälter leckt; Öl fließt aus	Abnahme: Behälter vor Inbetriebnahme mit 2 bar auf Dichtigkeit überprüfen	Sichtbarer Ölaustritt am Behälter	10	1	2	20	KEINE
								[O-Ring klemmt in der Rüttlerzuführung] Automatische Prozessunterbrechung					
3.3	AG3-4: O-Ring in Gehäuse-Nut montieren	O-Ring in Gehäuse-Nut montieren	O-Ring eingeklemmt	O-Ring mechanisch beschädigt		Oberfläche der Fügehilfe beschädigt	Einsatz eines verschleiß- und abriebfesten Materials	Dichtheitsprüfung in der Montage	10	2	5	100	

Formblatt Prozess-FMEA, Betrachtung „O-Ring-Montage“

Quelle: Bosch -Schriftenreihe: FMEA S. 36

# Vorteile der FMEA

---

- Fehler im Produktentstehungsprozess werden vermieden
- Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten und Prozessen werden gesteigert
- Entwicklungszeiten werden verkürzt
- Fertigung und Montage werden wirtschaftlicher gestaltet, durch robustes Design sowie stabile und fähige Prozesse
- Nachträgliche Produktänderungen werden minimiert und damit Kosten reduziert
- Interne und externe Fehlerkosten werden reduziert
- Entlastungsnachweis im Produkthaftungsfall wird erbracht
- Serienanläufe ohne Störung werden ermöglicht
- Die Kommunikation in der Kunden-/Lieferantenkette wird optimiert
- Es wird eine Wissensbasis im Unternehmen aufgebaut