

4. FMEA

Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse

Prof. Dr.-Ing. B. Bertsche

Institut für Maschinenelemente (IMA),

Abteilung Zuverlässigkeitstechnik,

Universität Stuttgart

ist eine qualitative Zuverlässigkeitsmethode
(bekannteste Methode, häufigster Einsatz)



UNI STUTTGART Institut für Maschinenelemente ©
Zuverlässigkeitstechnik

Prof. Bertsche



4.1 Grundlagen und Allgemeines zur FMEA Methodik



- 4.2 FMEA nach VDA 86 (Formblatt FMEA)
- 4.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86
- 4.4 FMEA nach VDA 4 (2006)
- 4.5 Beispiel einer **Prozess-FMEA** nach **VDA 4**
- 4.6 DAMUK-Methode
- 4.7 Softwareunterstützung
- 4.8 Übungsbeispiel

F M E A ?

- Failure Mode and Effects Aalysis
- Fehler- Möglichkeiten- und Einfluss-Analysen
- Ausfalleffektanalyse (DIN 25 448)
- Verhaltensanalyse (MBB)
- Ausfallverhaltens-Analyse
- Analyse von Ausfallarten,
Ausfall-Folgen und Ausfall-Ursachen

Entwicklung und Anwendungsgebiete der Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (Failure Mode and Effect Analysis):

1949	Militärische Anweisung MIL-P-1629
1963	NASA: Apollo-Projekt
1965	Luft- und Raumfahrt
1975	Kerntechnik
1978	Automobilindustrie (Ford)
1980	Normung in Deutschland DIN 25 448: Ausfalleffektenanalyse
1986	Verstärkter Einsatz in der Autoindustrie VDA-Band 4
1990	Einsatz in Elektronik , Software, usw.
1996	Weiterentwicklung zur System-FMEA VDA-Band 4.2
2006	Weiterentwicklung der FMEA VDA-Band 4



In der neuen **ISO/TS 16949** wird die **FMEA** als Risikoanalyse **bindend vorgeschrieben**, nicht wie bisher, nur empfohlen.

ISO/TS 16949:

Harmonisierung der Regelwerke QS-9000 und VDA 6.1. Die ISO/TS 16949 gilt als Nachfolger der gegenwärtig von der Automobilbranche geforderten Automobilnormen QS-9000, VDA 6.1, AVSQ und EAQF.

Alle europäischen und amerikanischen Automobilhersteller erkennen die neue Fassung als Standard an.

Was ist unter FMEA zu verstehen

FMEA: Failure Mode and Effects Aalysis
Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Aalyse

FMEA ist eine entwicklungsbegleitende und teamorientierte Methode,

- um mögliche Ausfall-Arten, -Folgen und -Ursachen aufzuzeigen und zu beschreiben,
- das Risiko zu bewerten und
- Maßnahmen zur Optimierung festzulegen.



4.1 Grundlagen und Allgemeines zur FMEA Methodik

4.2 FMEA nach VDA 86 (Formblatt FMEA)

4.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86

4.4 FMEA nach VDA 4 (2006)

4.5 Beispiel einer **Prozess-FMEA** nach **VDA 4**

4.6 DAMUK-Methode

4.7 Softwareunterstützung

4.8 Übungsbeispiel



 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluss- Analyse Konstruktions- FMEA ☐ Prozess- FMEA ☐						Teil- Name		Teil- Nummer		Blatt — von —				
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Modell/System/Fertigung		Technischer Änderungszustand						
								Erstellt durch (Name/Abteilung)		Datum	Überarbeitet Datum					
Nr.	Bauelement/ Prozessschritt	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall-ursachen	DERZEITIGER ZUSTAND				Empfohlene Abstell-maßnahmen	Verantwort-lichkeit	VERBESSERTER ZUSTAND			
							Vorgesehene Verhütungs- und Prüfmaßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung RPZ			Getroffene Maßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung RPZ
Bauelement, Funktion		Risikoanalyse  Risiko- bewertung  Konzeptoptimierung														

s. Abb. 4.7

 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluß- Analyse Konstruktions- FMEA ☐ Prozeß- FMEA ☐					Te	
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant	Mc	
Nr.	Bauelement/ Prozeßschritt*	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall- ursachen	DERZEITIGER Vorgesehene Verhütungs- und Prüfmaßnahmen	Er: (N)
	1. Spalte	2. Spalte	3. Spalte	4. Spalte		6. Spalte	7. Spalte	

Konstruktions-FMEA:
 ▷ Eintragen der Bauteile und Ihrer Funktion(en)

Prozeß-FMEA:
 ▷ Eintragen der Prozeßschritte und ihrer Funktion(en)

Vorteile:
 ▷ kein Bauteil/Prozeß wird vergessen
 ▷ sehr konkrete Ausfallsuche
 ▷ Methode bottom up

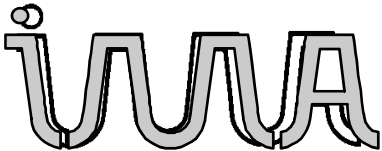
Potentieller Ausfall:
 ▷ Suche nach allen möglichen/potentiellen Ausfallarten (Prognose!)
 ▷ wichtigster und gleichzeitig auch schwierigster Schritt der FMEA!

Potentielle Ausfallfolgen:
 ▷ Suche nach allen möglichen/potentiellen Ausfallfolgen

Potentielle Ausfallursachen:
 ▷ Suche nach allen möglichen/potentiellen Ausfallursachen

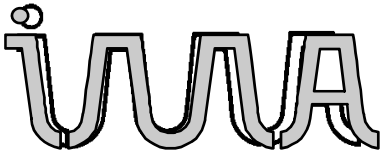
Vorgesehenen Verhütungs- und Prüfmaßnahmen:
 ▷ Definition/Ermittlung aller vorgesehenen Verhütungs- und Prüfmaßnahmen

Risikoanalyse - Formblatt-Spalten:

 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluß- Analyse Konstruktions- FMEA ☐ Prozeß- FMEA ☐						Te
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Mc
								Er: (N:
Nr.	Bauelement/ Prozeßschritt*	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall- ursachen	DERZEITIGER Vorgesehene Verhütungs- und Prüfmaßnahmen	
	1. Spalte	2. Spalte						

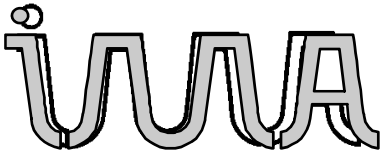
**Eintragen der Bauteile
und ihrer Funktion**

Risikoanalyse - Formblatt-Spalten:

 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluß- Analyse Konstruktions- FMEA ☐ Prozeß- FMEA ☐						Te
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Mc
								Er: (N:
Nr.	Bauelement/ Prozeßschritt	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall- ursachen	DERZEITIGE Vorgesehene <u>Ver</u> hütungs- und <u>Pr</u> üfmaßnahmen	
			3. Spalte					

**Potentieller
Ausfall**

Risikoanalyse - Formblatt-Spalten:

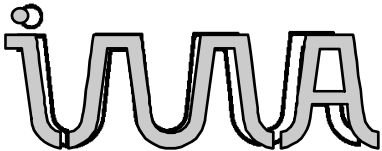
 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluß- Analyse Konstruktions- FMEA ☐ Prozeß- FMEA ☐						Te
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Mc
Nr.	Bauelement/ Prozeßschritt	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall- ursachen	DERZEITIGER Vorgesehene <u>V</u> erhütungs- und <u>P</u> rüfmaßnahmen	Er: (N:
				4. Spalte				

**Potentielle
Ausfallfolgen**

s. Abb. 4.8

Prof. Bertsche

Risikoanalyse - Formblatt-Spalten:

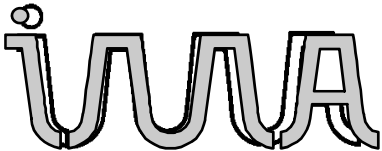
 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluß- Analyse Konstruktions- FMEA ☐ Prozeß- FMEA ☐						Te
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Mc
								Er: (N:
Nr.	Bauelement/ Prozeßschritt	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall- ursachen	DERZEITIGER Vorgesehene <u>V</u> erhütungs- und <u>P</u> rüfmaßnahmen	
						6. Spalte		

**Potentielle
Ausfallursachen**

s. Abb. 4.8

Prof. Bertsche

Risikoanalyse - Formblatt-Spalten:

 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluß- Analyse Konstruktions- FMEA ☐ Prozeß- FMEA ☐						Te
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Mc
								Er: (N:
Nr.	Bauelement/ Prozeßschritt	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall- ursachen	DERZEITIGE Vorgesehene <u>V</u> erhütungs- und <u>P</u> rüfmaßnahmen	
								7. Spalte

Verhütungs- und Prüfmaßnahmen

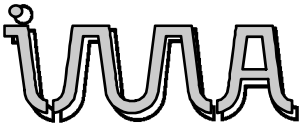
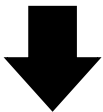
s. Abb. 4.8

Prof. Bertsche

Ermittlung der Ausfallarten

- Erfahrungen der FMEA-Teilnehmer
- Schadensstatistiken
- Checklisten (Ausfallartenlisten)
- Kreativitätstechniken
(Brainstorming, 635, Delphi, ...)
- systematisch über Funktionen bzw. Fehlfunktionen
(Fehlerbäume)

s. Abb. 4.9

 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluss- Analyse							Teil- Name		
		Konstruktions- FMEA		Prozess- FMEA					Modell/System/ Fertigung		
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant					
		Erstellt durch (Name/Abteilung)									
Nr.	Bauelement/ Prozessschritt	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall- ursachen	DERZEITIGER ZUSTAND				
							Vorgesehene Verhütungs- und Prüfmaßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung	RPZ
1	 										
			1								
											
											
			2								
											
											

 UNI STUTTGART		Fehler- Möglichkeits- und Einfluss- Analyse Konstruktions- FMEA ☐ Prozess- FMEA ☐						Teil- Name		Teil- Nummer		Blatt — von —				
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant		Modell/System/Fertigung		Technischer Änderungszustand						
								Erstellt durch (Name/Abteilung)		Datum	Überarbeitet Datum					
Nr.	Bauelement/ Prozessschritt	Funktion	Potentieller Ausfall	Potentielle Ausfallfolgen	D	Potentielle Ausfall-ursachen	DERZEITIGER ZUSTAND				Empfohlene Abstell-maßnahmen	Verantwort-lichkeit	VERBESSERTER ZUSTAND			
							Vorgesehene Verhütungs- und Prüfmaßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung			RPZ	Getroffene Maßnahmen	Auftreten	Bedeutung
			Risikoanalyse Risiko- bewertung													

s. Abb. 4.7

Risikobewertung:

DERZEITIGER ZUSTAND				
Vorgesehene <u>V</u> erhütungs- und <u>P</u> rüfmaßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung	RPZ
				

 Wie wahrscheinlich ist das Auftreten der Ausfall-Ursache

 Wie groß ist die Bedeutung der Ausfall-Folge

 Wie groß ist die Entdeckung der Ausfall-Ursache vor Auslieferung

 **RPZ = Auftreten X Bedeutung X Entdeckung (Gesamtrisiko)**

Risikobewertung - Werteskala:

- Werteskala von 1 bis 10
 - positiv, günstig = 1
 - negativ, schlecht = 10
- Abstufungen mit Hilfe von Tabellen (VDA etc.)
- Produkt aus den Einzelbewertungen
= Risikoprioritätszahl RPZ:
Risiko der ermittelten Fehlerursache

Konzeptoptimierung:

- Fehlerursachen nach Höhe der **RPZ** ordnen
- Optimierung beginnend bei Fehlerursache mit größter **RPZ**:
 - bis festgelegte Grenz-RPZ
(z.B. $RPZ=125$) oder
 - bis festgelegte Anzahl von Ausfallarten
(üblich: nach Pareto-Prinzip ca. 20-30%)
- Fehlerursachen mit $A > 8$
Fehlerfolgen $E > 8$ und $B > 8$ gesondert betrachten
- **FMEA-Ergebnis** gesondert betrachten

s. Abb. 4.13



Institut für Maschinenelemente ©

UNI STUTTGART Zuverlässigkeitstechnik

Prof. Bertsche

Vorgehen bei der Konzeptoptimierung

Teil- Name					Teil- Nummer					Blatt — von —	
Modell/System/Fertigung					Technischer Änderungszustand						
Erstellt durch (Name/Abteilung)					Datum		Überarbeitet Datum				
BETROFFENER ZUSTAND					Empfohlene Abstell- maßnahmen	Verantwort- lichkeit	VERBESSERTER ZUSTAND				
Ursachen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung	RPZ			Getroffene Maßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung	RPZ

←

**Lösungen,
Maßnahmen
(geplant)**

→

←

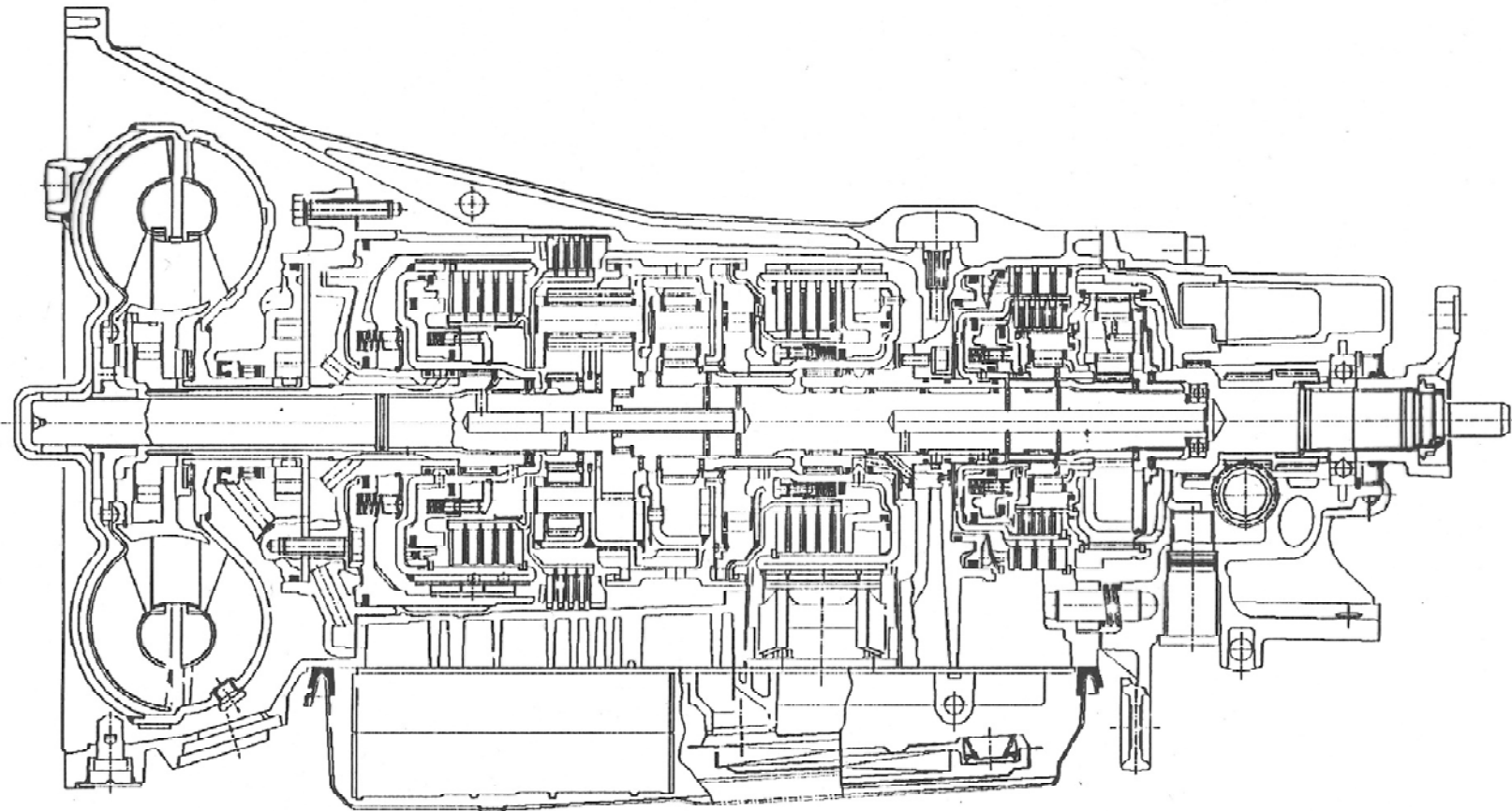
**Ergebnis,
Beurteilung
(umgesetzt)**

→



- 4.1 Grundlagen und Allgemeines zur FMEA Methodik
- 4.2 FMEA nach VDA 86 (Formblatt FMEA)
- 4.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86**
- 4.4 FMEA nach VDA 4 (2006)
- 4.5 Beispiel einer **Prozess-FMEA** nach **VDA 4**
- 4.6 DAMUK-Methode
- 4.7 Softwareunterstützung
- 4.8 Übungsbeispiel

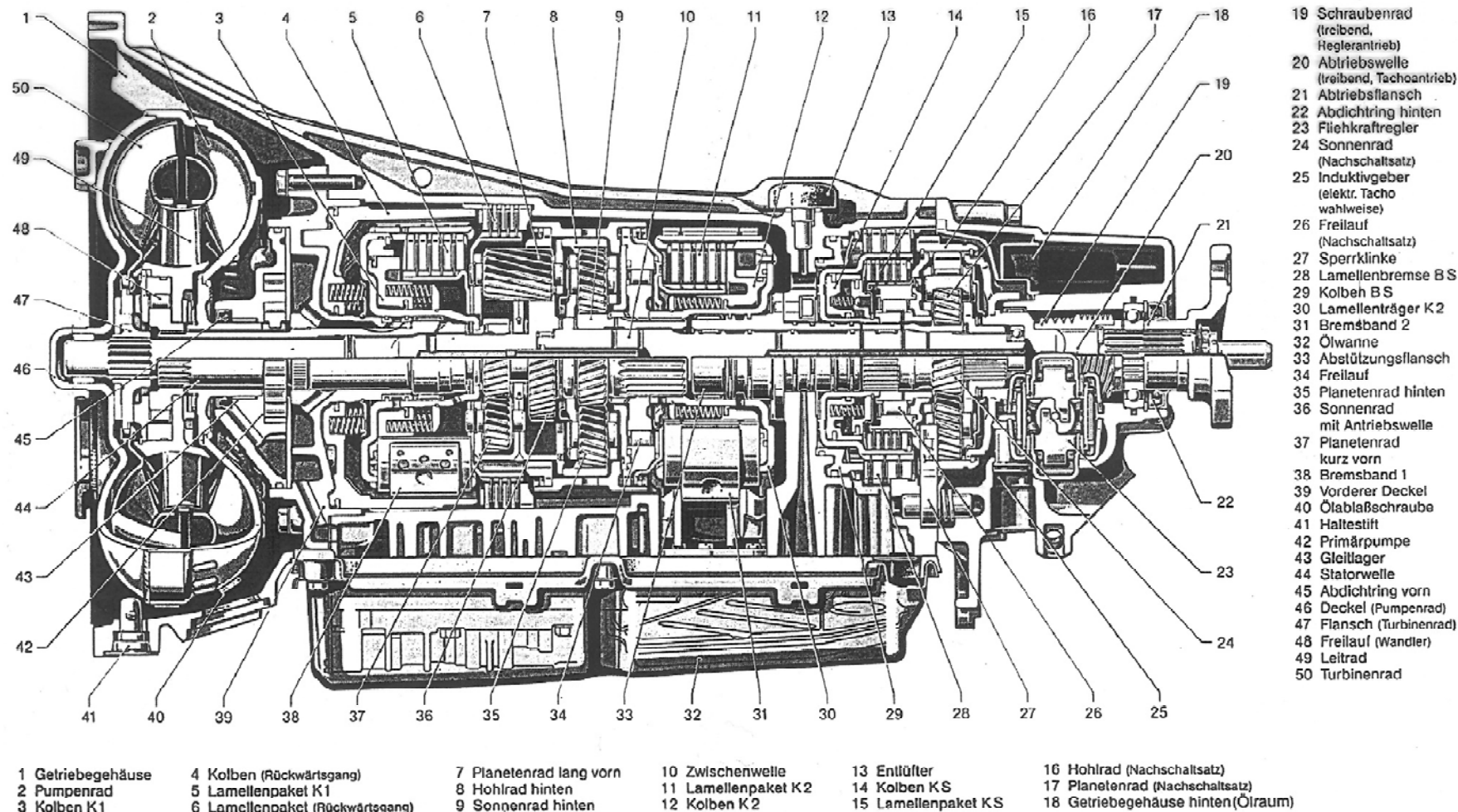




W5A030

PKW - Konstruktion

EP / FKGA

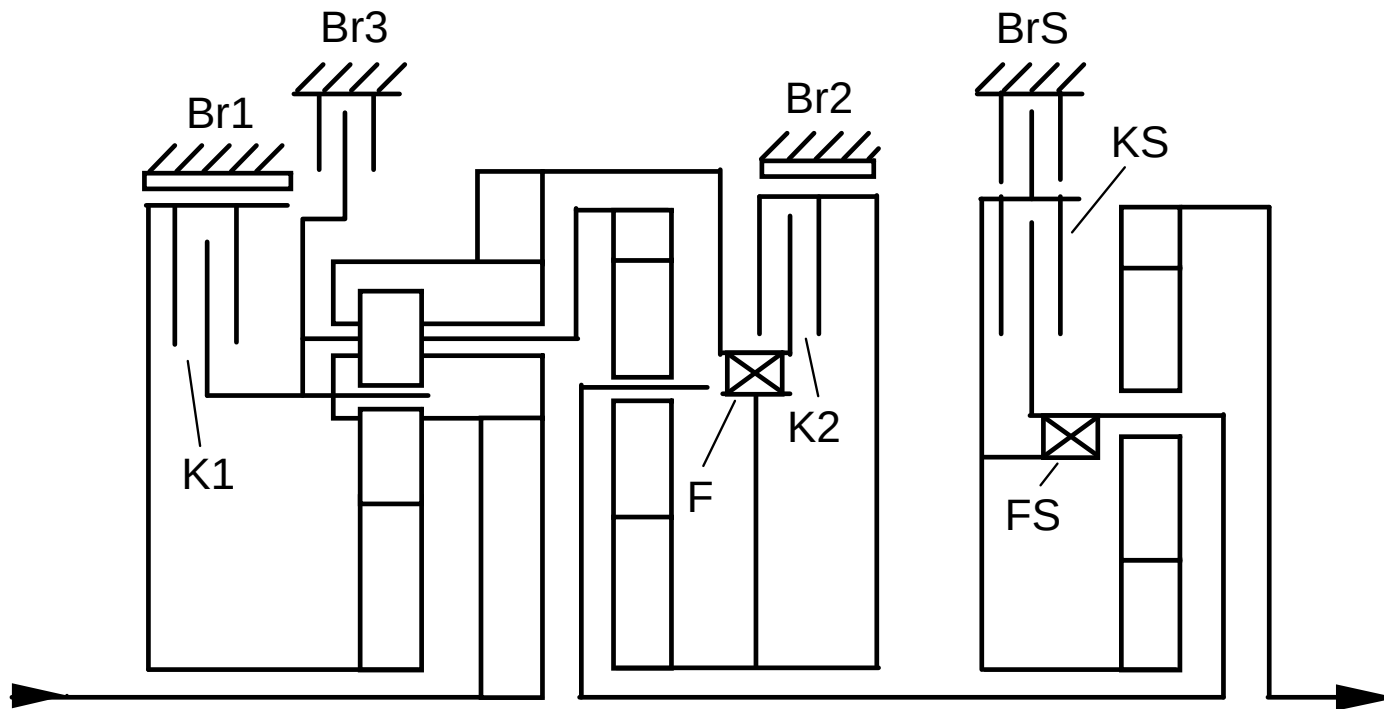


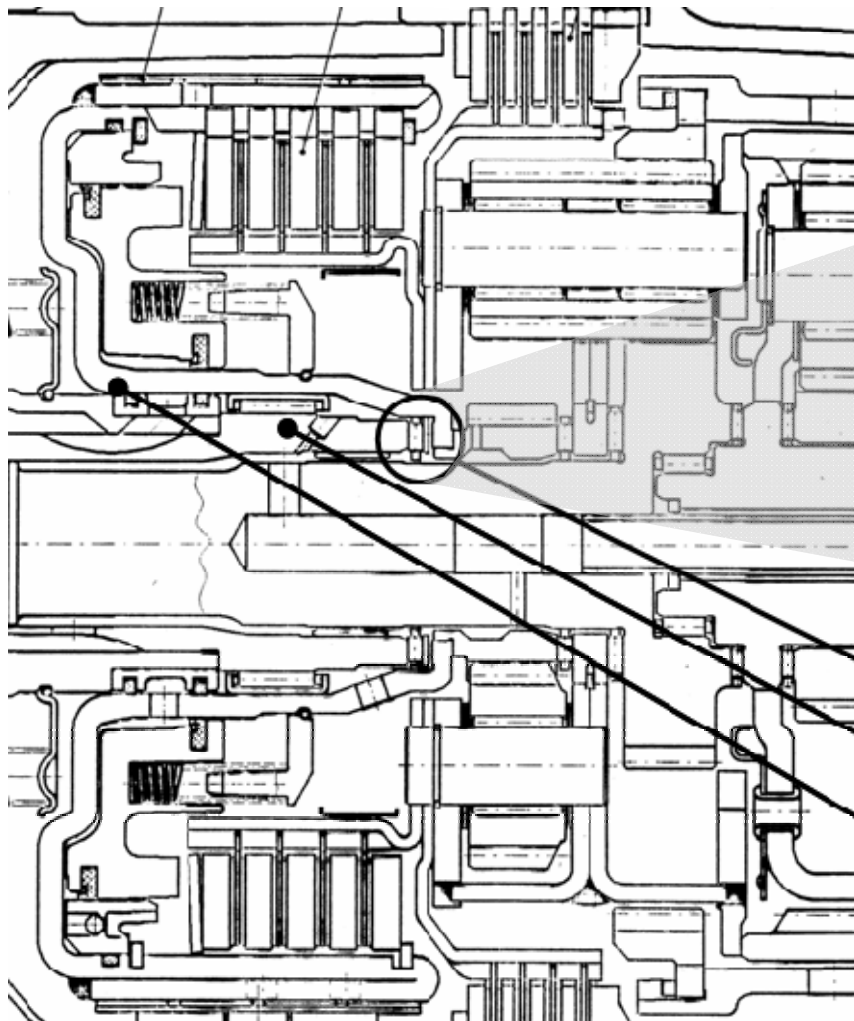
5-Gang-Automatic-Getriebe W 5 A 030

Typ 300 SE – SEL



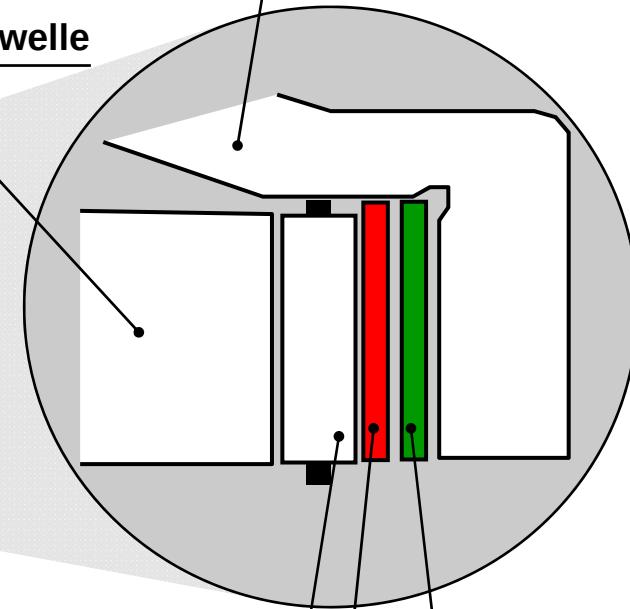
Mercedes-Benz AG
Stuttgart-Untertürkheim
FG 25411
Printed in Germany
6.91





Außenlamellenträger

Statorwelle

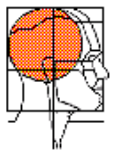


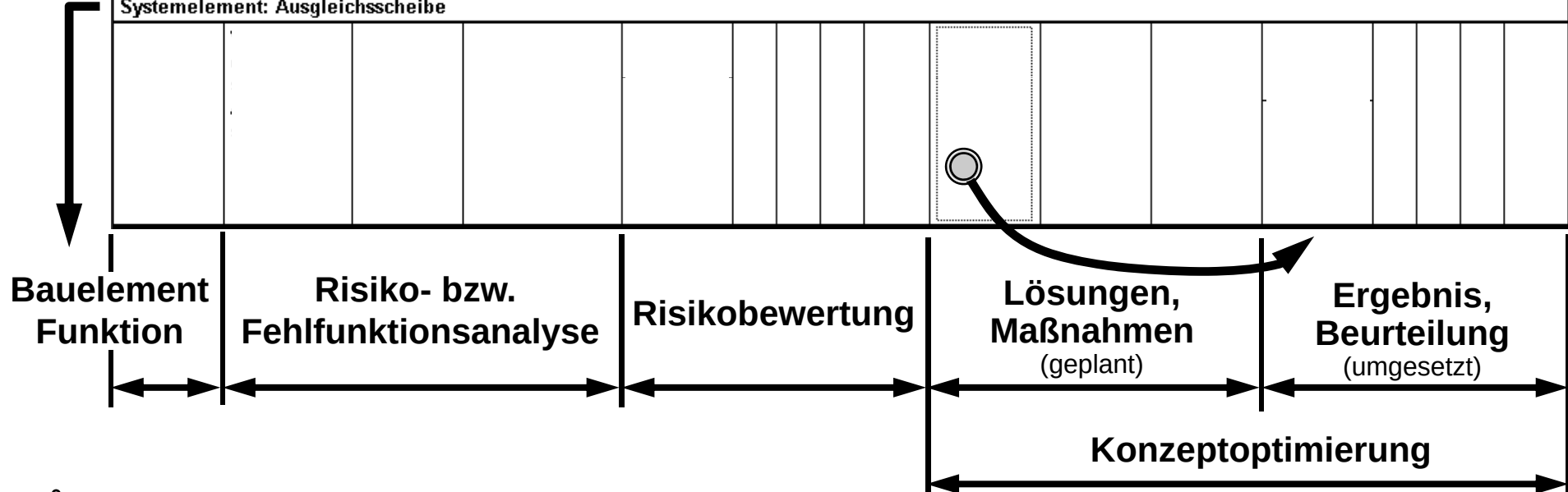
Axiallager

Laufscheibe

Ausgleichsscheibe

s. Abb. 4.17

Funktion	Fehlerart	Fehlerfolge	Fehlerursache	Ist-Zustand					Empf. Maßnahme	Verantwortlichkeit	Termin	verbesserter Zustand				
				Maßnahme	A	B	E	RPZ				Getr. Maßnahme	A	B	E	RPZ
 FMEA System												Nummer: 1 Seite:				
Typ/Modell/Fertigung/Charge: System Struktur				Sach-Nummer: Maßnahmenstand:				Verantwortlich: Firma:			Erstellt: 19.10.2003					
FMEA/Systemelement: Ausgleichsscheibe				Sach-Nummer: Maßnahmenstand:				Verantwortlich: Firma:			Erstellt: 19.10.2003 Verändert: 19.10.2003					
Funktion	Fehlerart	Fehlerfolge	Fehlerursache	Ist-Zustand					Empf. Maßnahme	Verantwortlichkeit	Termin	verbesserter Zustand				
				Maßnahme	A	B	E	RPZ				Getr. Maßnahme	A	B	E	RPZ
Systemelement: Ausgleichsscheibe																



Bauelement
Funktion

Risiko- bzw.
Fehlfunktionsanalyse

Risikobewertung

Lösungen,
Maßnahmen
(geplant)

Ergebnis,
Beurteilung
(umgesetzt)

Konzeptoptimierung

- 
- 
- 4.1 Grundlagen und Allgemeines zur FMEA Methodik
 - 4.2 FMEA nach VDA 86 (Formblatt FMEA)
 - 4.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86
 - 4.4 FMEA nach VDA 4 (2006)**
 - 4.5 Beispiel einer **Prozess-FMEA** nach **VDA 4**
 - 4.6 DAMUK-Methode
 - 4.7 Softwareunterstützung
 - 4.8 Übungsbeispiel

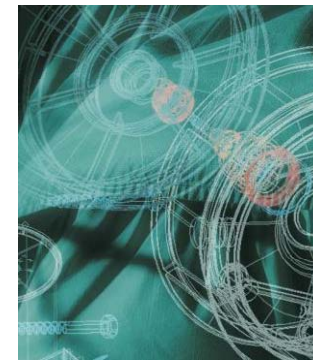
Ziele der FMEA sind:

In einer strukturierten Vorgehensweise

- mögliche Fehler zu **ermitteln**
- zu **priorisieren**
- und über **Definition geeigneter Maßnahmen** zu verhindern bzw. zu minimieren

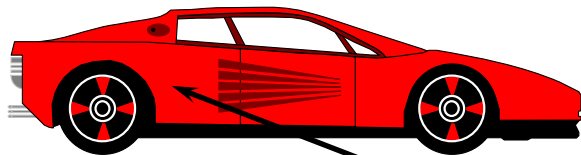
um

- eine **problemfreie Produkteinführung** bzw. Produktweiterführung zu erzielen
- **Kosten**, die durch das spätere Auftreten im Feld entstehen würden, zu **minimieren**
- und eine **Wissensdatenbank** für zukünftige Produkte/Projekte zu erzielen



- Steigerung der Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten und Prozessen
- Reduzierung von Garantie- und Kulanzkosten durch Ausweitung der gesetzlichen Gewährleistungszeit
- Sicherheitsnachweis bei der Zulassung der Fahrzeuge
- Entlastungsnachweis im Produkthaftungsfall
- störungsarme Serienanläufe
- wirtschaftlichere Fertigung und Montage
- zielgerechte Kommunikation in internen und externen Kunden- und Lieferantenbeziehungen
- Aufbau einer Wissensbasis im Unternehmen
- kundenorientierte Dienstleistungen
- kürzere Entwicklungszeiten
- Termintreue

Die verschiedenen FMEA-Arten:

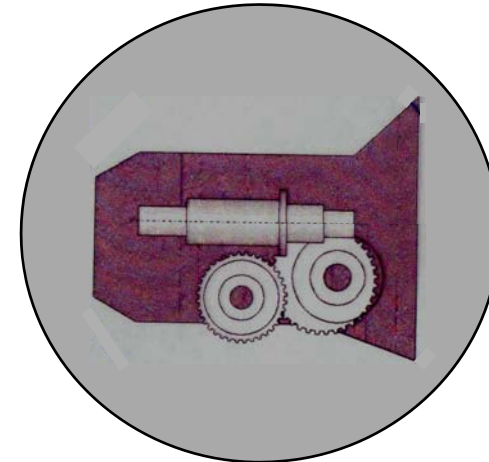


Gesamtsystem (Fahrzeug)

Teilsystem
(Getriebe)

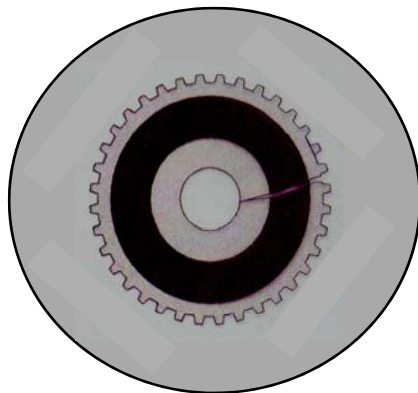
System-FMEA

Funktions-FMEA

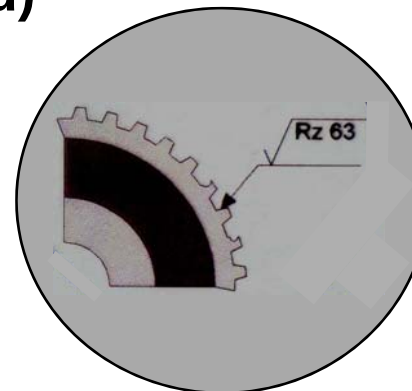


Bauteil (Zahnrad)

Produkt-FMEA



Prozess-FMEA



Produkt-FMEA

betrachtet die geforderten Funktionen von Produkten und Systemen bis auf die Auslegung der Eigenschaften und Merkmale.



Prozess-FMEA

betrachtet alle Abläufe zur Herstellung von Produkten und Systemen bis zu den Anforderungen an die Prozesseinflussfaktoren.

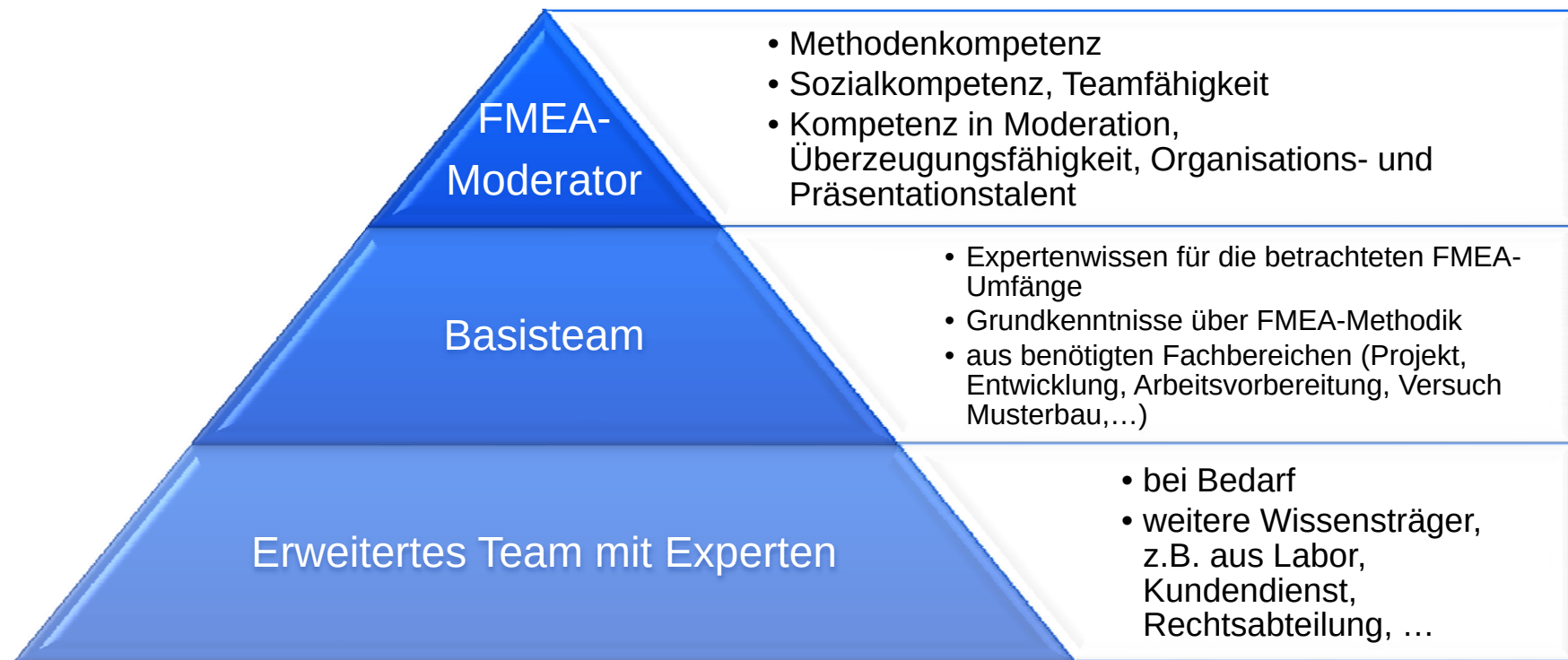


VDA Band 4

- Komponenten
- Konstruktion
- Fertigungsabläufe
- Montageabläufe
- Systeme
- Maschinen
- Schnittstellen
- Softwarefunktionen
- Logistik
- Transport
- Nichttechnische Systeme und Prozesse

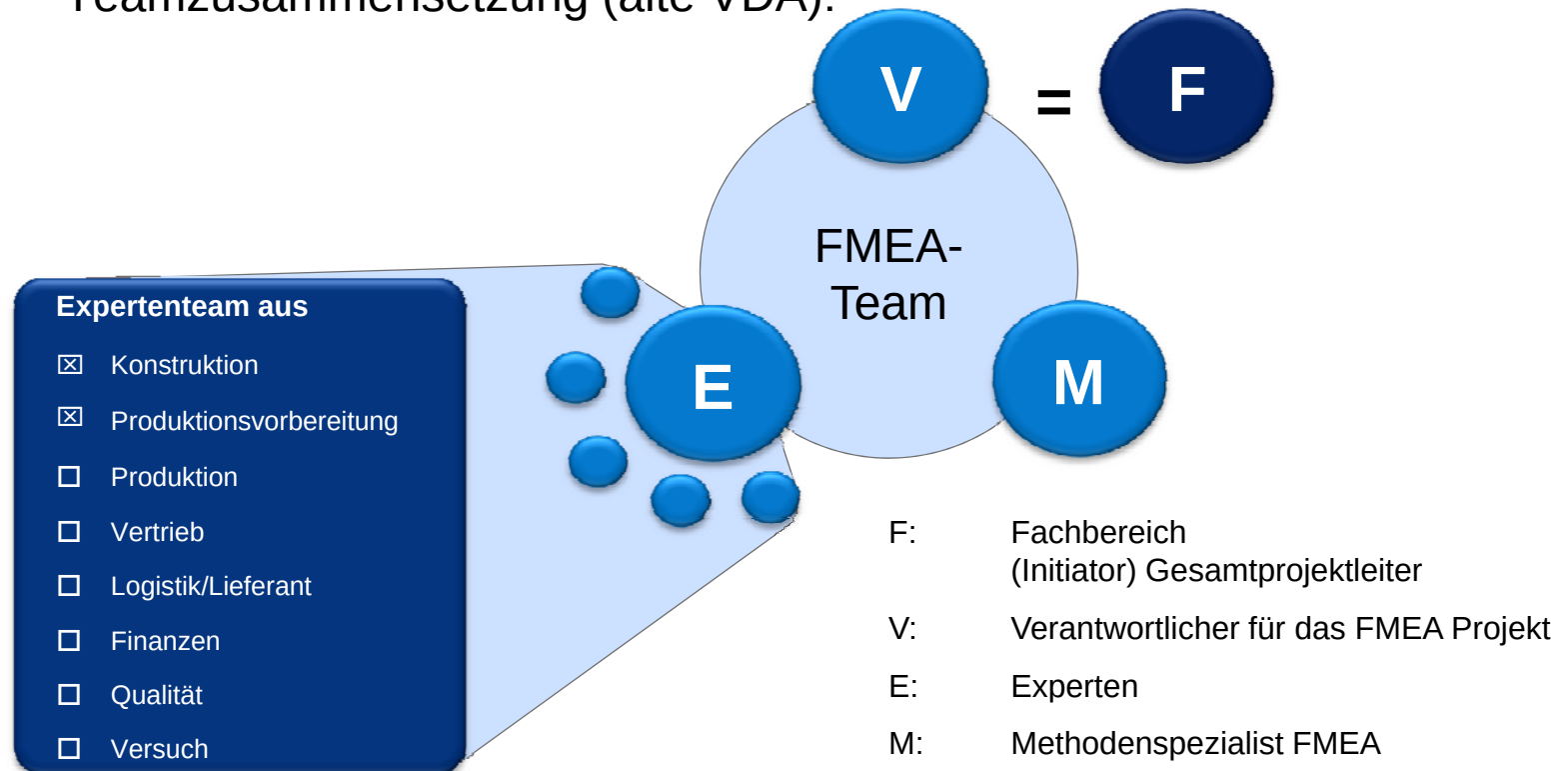
Organisatorische Vorbereitung und Teamzusammensetzung

- Umfang der FMEA festlegen
- benötigte Unterlagen, Materialien besorgen
- Teamzusammensetzung (neue VDA):

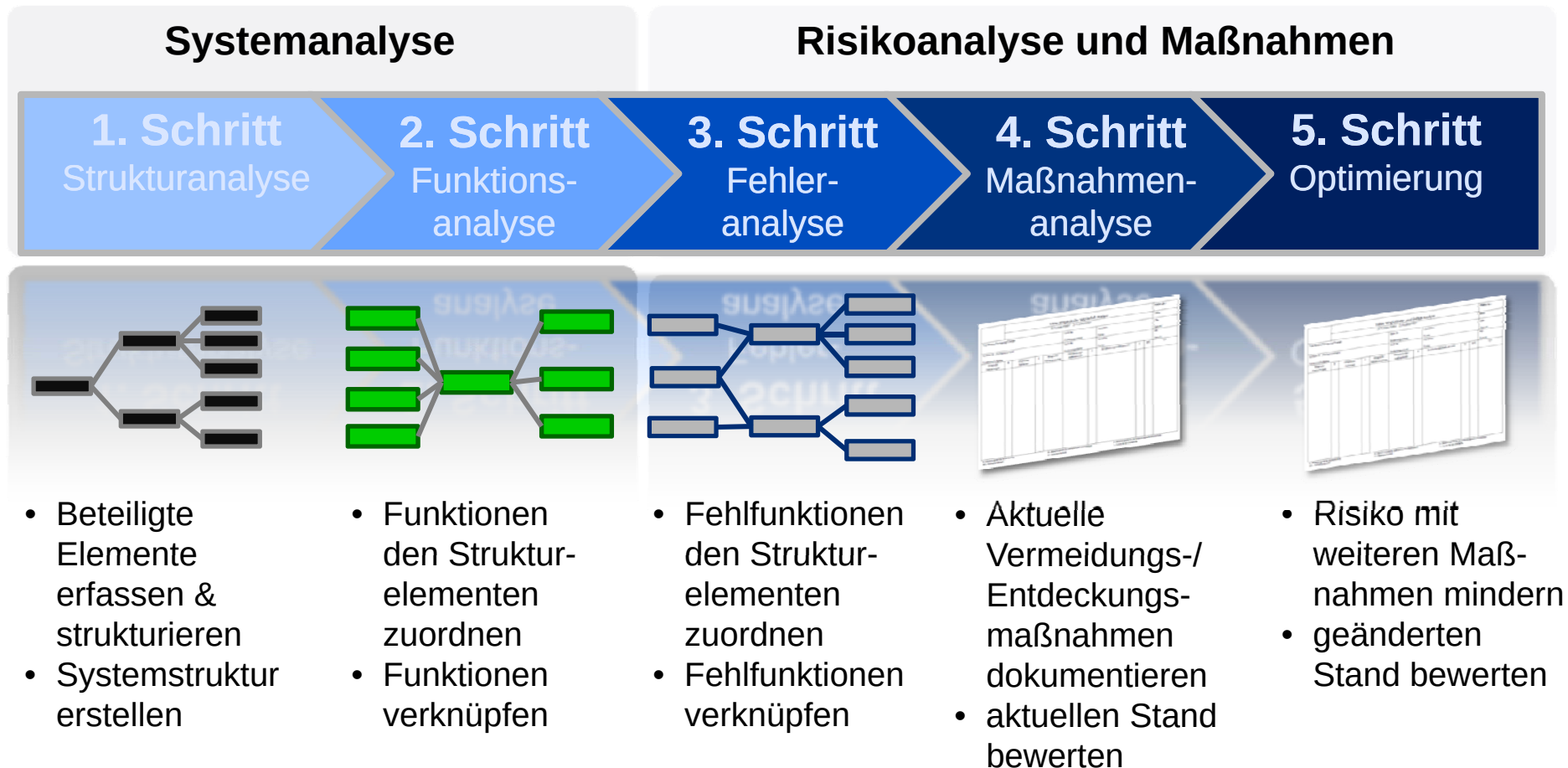


Organisatorische Vorbereitung und Teamzusammensetzung

- Umfang der FMEA festlegen
- benötigte Material besorgen
- Teamzusammensetzung (alte VDA):



Durchführung der FMEA: Die 5 Schritte der FMEA



Nachbearbeitung

- Umsetzung der Maßnahmen
- Neubewertung der Maßnahmen
- Weiterverwendung/-leitung der erarbeiteten Erkenntnisse



VDA: *Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz - Produkt- und Prozess-FMEA*, 2. Auflage, 2006

DGQ: Band 11–13 *FMEA – Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse*, 3. Aufl. 2004

AIAG: *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*, 4th Edition, June 2008, AIAG

Bernd Bertsche, Gisbert Lechner; *Zuverlässigkeit im Fahrzeug und Maschinenbau*; 3. Aufl., 2004, Springer

Dieter H. Müller, Thorsten Tietjen: *FMEA-Praxis*, 2. Aufl. 2003

FMEA nach VDA 4

Band 4

Verband der Automobilindustrie

Neuer, übergeordneter Begriff:

System - FMEA

Wesentliche Einflussfaktoren für verstärkte Einsatz:

- gestiegene Qualitätsansprüche der Kunden
- Kostenoptimierung der Produkte
- gesetzlich geforderte Produkthaftung der Hersteller

Ziele der System-FMEA im einzelnen:

- Steigerung der Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten;
- Reduzierung von Garantie- und Kulanzkosten;
- Kürzere Entwicklungsprozesse;
- Störungsärmere Serienanläufe;
- Bessere Termintreue;
- Wirtschaftlichere Fertigung;
- Bessere Dienstleistungen;
- Bessere innerbetriebliche Kommunikation.

Zeitpunkt für Einsatz:

- so früh wie möglich

im Produktentstehungsprozess:

in Lastenheftphase?, nach bzw. beim Entstehen erster Entwürfe!
(präventive Zuverlässigkeitsmethode)

- “entwicklungsbegleitend“

mit permanenter Anpassung

darf nicht als statisches Dokument verstanden werden

Gründe für Weiterentwicklung:

- bei bisheriger Konstruktions-FMEA:

Fehler - / Ausfallbetrachtungen überwiegend auf Bauteilebene

d.h. funktionaler Zusammenhang aller Bauteile wurde nicht systematisch erfasst

- bei bisheriger Prozess-FMEA:

nur Fehlerbetrachtungen in einzelnen Prozessschritten, d.h. keine Analyse des gesamten Herstellprozesses bis hin zur Auslegung von Werkzeugen und Maschinen

FMEA - Erstellung erfolgte über Formblatt

d.h. es erfolgte keine strukturierte Beschreibung von Funktions- und möglichen Fehlfunktionszusammenhängen in Systemen

Lösung: Entwicklung von

“Produkt FMEA“ bzw.
“Prozess FMEA“

		FMEA System				Nummer: 1 Seite:	
Typ/Modell/Fertigung/Charge: System Struktur		Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 19.10.2003	
FMEA/Systemelement: Systemelement		Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 19.10.2003 Verändert: 19.10.2003	
Funktion	Fehlerart	Fehlerfolge	Fehlerursache	Ist-Zustand Maßnahme	A B E RPZ	Empf. Maßnahme	Verantwort-lichkeit
				verbesselter Zustand Getr. Maß-nahme A B E RPZ			
Systemelement: Systemelement							

VDA 86

s. Abb. 4.8

		FMEA System				Nummer: 1 Seite:	
Typ/Modell/Fertigung/Charge: System Struktur		Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 19.10.2003	
FMEA/Systemelement: Systemelement		Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 19.10.2003 Verändert: 19.10.2003	
Mögliche Fehlerfolgen	B	Mögliche Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungs-maßnahmen	A	Entdeckungs-maßnahmen	E RPZ V/T
Systemelement: Systemelement							
Funktion: Systemelement							
				Maßnahmenstand - Anfang: 19.10.2003			
				Maßnahmenstand: 19.10.2003			

VDA 4.2 / VDA 4

Heutiger Standard



								Nummer:	
								Seite:	
Typ/Modell/Fertigung/Charge:		Sachnummer:		Verantwortlich:		Erstellt:			
		Maßnahmenstand:		Firma:					
FMEA/Systemelement:		Sachnummer:		Verantwortlich:		Erstellt:			
		Maßnahmenstand:		Firma:		Verändert:			
Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
Blanco FMEA-Formblatt									

Für neue Vorgehensweise zusätzlich notwendig:

System - und Funktionsbetrachtungen

- Strukturierung des zu untersuchenden Produkts als System mit Systemelementen und Aufzeigen von funktionalen Zusammenhängen dieser Elemente
- Ableiten der denkbaren Fehlfunktionen (mögliche Fehler) eines Systemelements aus dessen zuvor beschriebenen Funktionen
- logische Verknüpfung der zusammengehörigen Fehlfunktionen unterschiedlicher Systemelemente, um die in der System-FMEA zu analysierenden möglichen Fehlerfolgen, Fehler und Fehlerursachen beschreiben zu können

Begriff „System“:

Jedes technische Gebilde (Anlage, Maschine, Gerät, Baugruppe,...) ist beschreibbar als „**System**“;

Für ein System gilt:

- lässt sich von der Umgebung abgrenzen → Systemgrenze; Schnittstellen an Systemgrenzen sind Ein- und Ausgangsgrößen
- lässt sich in Teilsysteme bzw. Systemelemente untergliedern
- kann auf verschiedenen Hierarchiestufen gebildet werden
- je nach Zweck sind unterschiedliche Systemeinteilungen möglich (z.B. in Baugruppen, in Funktionsgruppen,...)
- ist eine abstrakte Produktbeschreibung

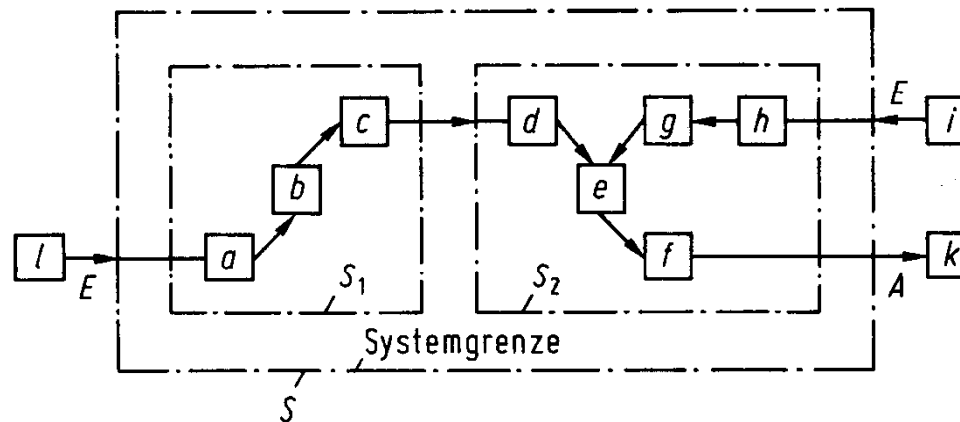
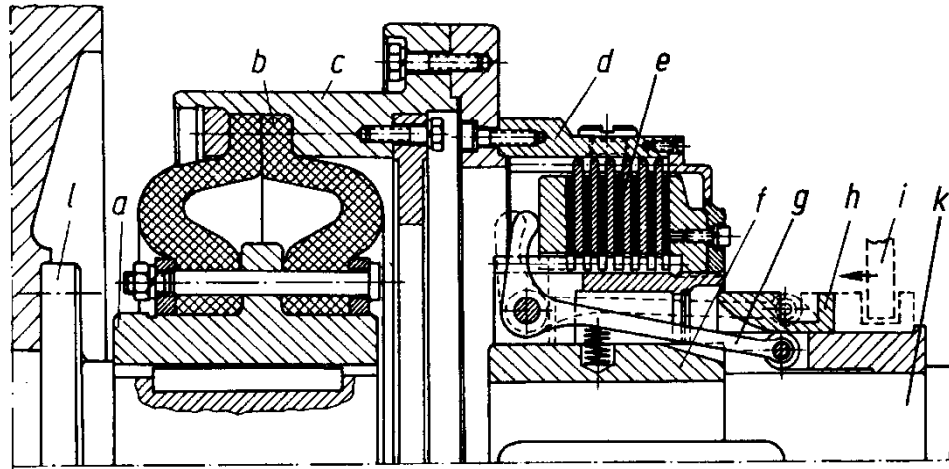


Bild 2.1. Sys „Kupplung“, $a \dots h$ Systemelemente (beispielsweise); $i \dots l$ Anschlußelemente; S Gesamtsystem; S_1 Teilsystem „Elastische Kupplung“; S_2 Teilsystem „Schaltkupplung“; E Eingangsgrößen (Inputs); A Ausgangsgrößen (Outputs)

Begriff „Funktion“:

Definition: Eine „**Funktion**“ beschreibt den allgemeinen und eindeutigen Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrößen von technischen Gebilden, Systemen, ...

Vorstellung: „Black Box“

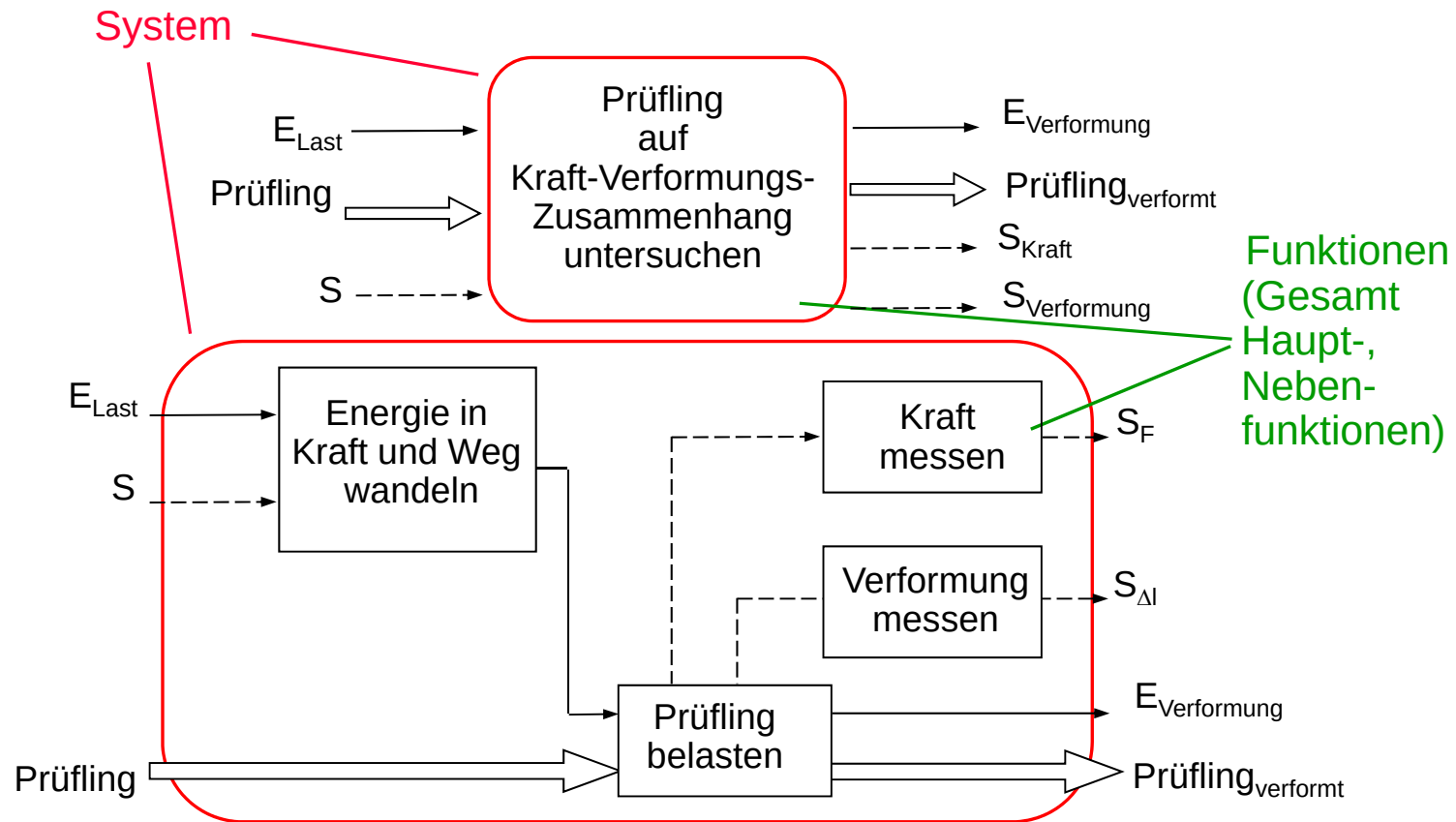


s. Abb. 4.20

- dient zur Aufgabenbeschreibung in neutraler Form bzw.
- ist Aufgabenformulierung auf abstrakter und lösungsneutraler Ebene

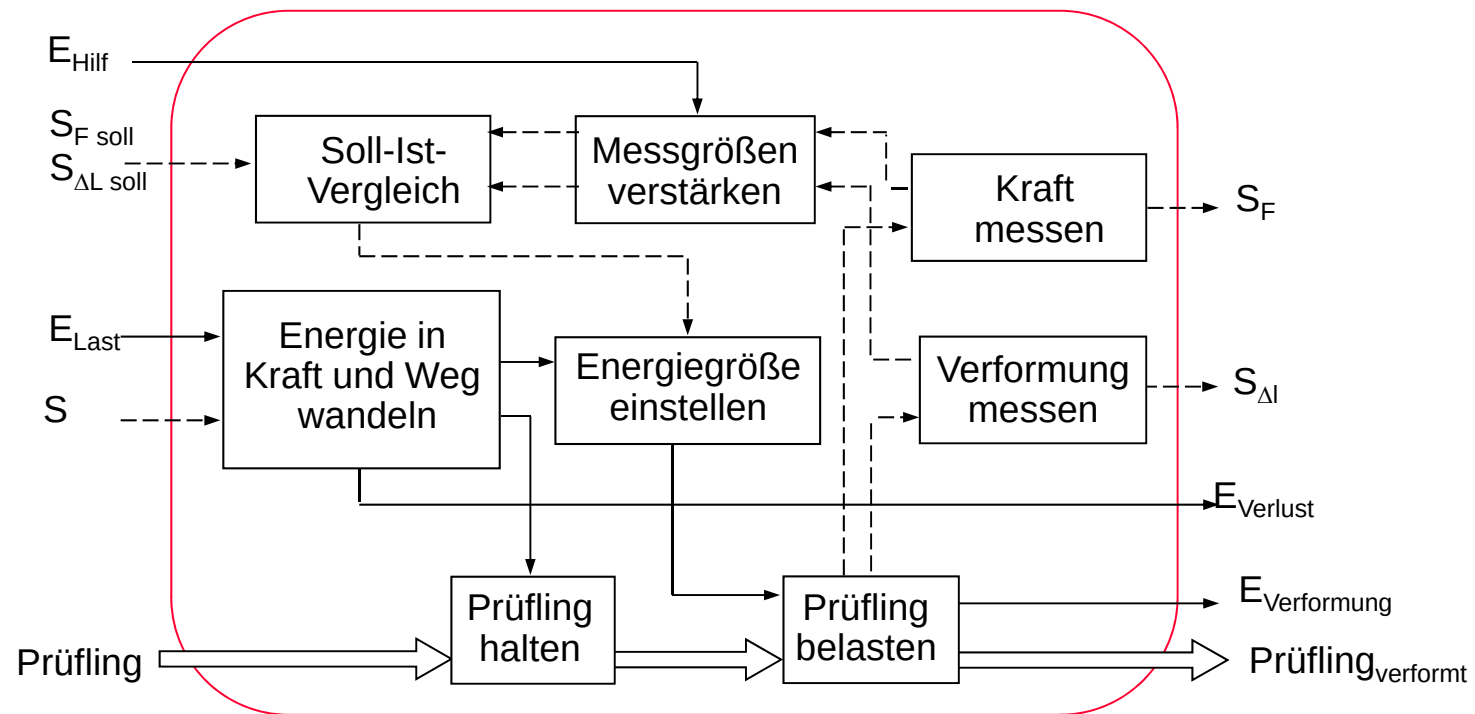
Beispiele für Funktionen:

Getriebe	→	Drehmoment / Drehzahl wandeln
Elektromotor	→	elektr. in mech. Energie wandeln
Überdruckventil	→	Druck begrenzen
RAM	→	Signale speichern



Gesamtfunktion und Funktionsstruktur einer Prüfmaschine

a) Grobstruktur mit Hauptfunktion



Gesamtfunktion und Funktionsstruktur einer Prüfmaschine
a) Feinstruktur mit weiteren Haupt- und Nebenfunktionen

s. Abb. 4.22

Prof. Bertsche

Erläuterungen zum Formblatt nach VDA 4

Stammdaten:

In den Kopf des Formblattes oder auf dem Deckblatt der System-FMEA sind die Daten entsprechend den Erfordernissen der jeweiligen Produkte und Prozesse einzutragen. Aus diesen Daten muß das betrachtete System erkennbar sein.

Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse										FMEA-Nr.: 1
☐ System-FMEA Produkt ☐ System-FMEA Prozeß										Seite von
Typ/Modell/Fertigung/Charge: 1				Sach-Nr.: 1		Verantw.: 1		Abt.: 1		
System-Nr./Systemelement: 2				Sach-Nr.: 2		Verantw.: 2		Datum: 2		
Funktion/Aufgabe: 2				Änderungsstand: 2		Firma: 2		Datum: 2		
Mögliche Fehlerfolgen	B	Möglicher Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	V/T	

Systemelement (SE) / Funktion/ Aufgabe :

Beschreibung des SE mit der jeweils betrachteten Funktion / Aufgabe



Mögliche Fehlerfolgen:

Beschreibung der möglichen Fehlerfolgen, die diese Fehler bzw. Fehlfunktionen für das Gesamtsystem haben können, und wie sich die Auswirkungen für den Endverbraucher bemerkbar machen.

Möglicher Fehler:

Eintragung der möglichen Fehler (Fehlft.) des betrachteten SE aus Punkt 2

Mögliche Fehlerursachen:

Für jeden Fehler werden die möglichen Fehlerursachen untersucht und in einer Spalte eingetragen. Hierzu können verwendet werden: Qualitätsaufzeichnungen, Felderfahrungen, Lebensdauer-, Zuverlässigkeitsdaten, Einsatzbedingungen, wie Hitze, Kälte, Staub, Stromversorgungsschwankungen, usw.

Mögliche Fehlerfolgen	B	Möglicher Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	V/T
⑤		③	④						13

B = Bewertungszahl für die Bedeutung
V = Verantwortlichkeit

A = Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit
T = Termin für die Erledigung

E = Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit
Risikoprioritätszahl $RPZ = B * A * E$

Vermeidungsmaßnahmen:

Für jede mögliche Fehlerursache werden als Basis für die Risikobewertung die zum Untersuchungszeitpunkt bereits durchgeführten Vermeidungsmaßnahmen aufgezeigt; Vermeidungsmaßnahmen, die künftig durchgeführt werden sollen, werden dagegen erst nach erfolgter Risikobewertung zur Systemoptimierung bestimmt. Vermeidungsmaßnahmen der System-FMEA Produkt sind beispielsweise konstruktive Maßnahmen, die das Auftreten von Fehlerursachen in der Entwicklungsphase minimieren bzw. zur Erreichung der technischen Zuverlässigkeit dienen.

Entdeckungsmaßnahmen:

Entdeckungsmaßnahmen sind Maßnahmen, die Fehlerursachen, Fehler und Fehlerfolgen entdecken. Zum Untersuchungszeitpunkt wirksame Entdeckungsmaßnahmen sind für die Risikobewertung relevant.

Mögliche Fehlerfolgen	B	Möglicher Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	V/T
	⑥			⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	

B = Bewertungszahl für die Bedeutung
V = Verantwortlichkeit

A = Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit
T = Termin für die Erledigung

E = Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit
Risikoprioritätszahl $RPZ = B * A * E$



Institut für Maschinenelemente ©
UNI STUTTGART Zuverlässigkeitstechnik

Prof. Bertsche

Erläuterungen zum Formblatt nach VDA 4

Mögliche Fehlerfolgen	B	Möglicher Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	V/T
	6			7	8	9	10	11	

B = Bewertungszahl für die Bedeutung
V = Verantwortlichkeit

A = Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit
T = Termin für die Erledigung

E = Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit
Risikoprioritätszahl $RPZ = B * A * E$

Bewertungszahl für die Bedeutung (B):

Bewertungszahl B wird für die Bedeutung der Fehlerfolgen für das Gesamtsystem festgelegt (siehe auch Abb. 2.52).

Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit (A):

Die Bewertungszahl A wird für jede Fehlerursache unter Berücksichtigung aller wirksamen Vermeidungsmaßnahmen festgelegt (siehe auch Abb. 2.52).

Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit (E):

Die Bewertungszahl E wird für jede Fehlerursache unter Berücksichtigung aller wirksamen Entdeckungsmaßnahmen festgelegt (siehe auch Abb. 2.52).

Risikoprioritätszahl (RPZ):

Die Risikoprioritätszahl ergibt sich aus der Multiplikation der Bewertungszahlen B, A und E. Sie wichtet das Systemrisiko für den Systemanwender und dient als ein Entscheidungskriterium zur Einleitung von Optimierungsmaßnahmen ($RPZ = B * A * E$).

Optimierungsmaßnahmen sind bei hohen RPZ oder hohen Einzelbewertungen A, E erforderlich. Die Bewertungszahlen B, A, E und die RPZ verdeutlichen Systemrisiken und zeigen die Ansatzpunkte zur Optimierung eines Systems auf.

B = Bewertungszahl für die Bedeutung	A = Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit	E = Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit
V = Verantwortlichkeit	T = Termin für die Erledigung	Risikoprioritätszahl RPZ = B * A * E

Gemäß Punkte 6, 8 und 10.

Gemäß Punkt 11.

Verantwortlicher (V) für die Durchführung
und Termin (T) für die Erledigung von
Maßnahmen.

Vorteile des neuen Formblattes nach VDA 4

- Anpassung auf System-FMEA Produkt und System-FMEA Prozess
- Weitere Eintragungen je Systemelement (SE) in der Kopfzeile (Änderungsstand, Sach-Nr., ...)
- Aufnahme der Funktionen / Aufgaben ins Formular als Zeile ohne zusätzlichen Spaltenbedarf
- Sichtbarmachen von konzeptändernden Maßnahmen durch weitere Kopfzeilen
- Für die Systembetrachtung geänderte Anordnung der Spalten in der Reihenfolge. Mögliche Fehlerfolgen / Möglicher Fehler / Mögliche Fehlerursachen
- Getrennte Darstellung der Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen
- Zuordnung der Bewertungsspalten zu den entsprechenden Analysespalten
- Breitere spalten, da die Optimierungsmaßnahmen in die bestehenden Spalten für Maßnahmen eingetragen werden.
- EDV-gerechtes Formular (A4 quer, nach DIN 476)
- Einträge in der V/T-Spalte zeigen entschiedene und offene Punkte der FMEA (schneller Überblick)
- Keine Begrenzung bei der Anzahl der Änderungsstände (vertikale Anordnung)

Die nach dem VDA-Formblatt ´86 erstellte FMEA behalten ihre Gültigkeit. Dies gilt ebenso für andere Formblätter, wenn die wesentlichen Inhalte enthalten sind.

Produkt-FMEA (Übersicht):

betrachtet werden Fehlfunktionen / Ausfallarten von Produkten;

Betrachtungen werden durchgeführt über die verschiedenen Systemhierarchien bis, falls erforderlich, zu den Versagensarten der

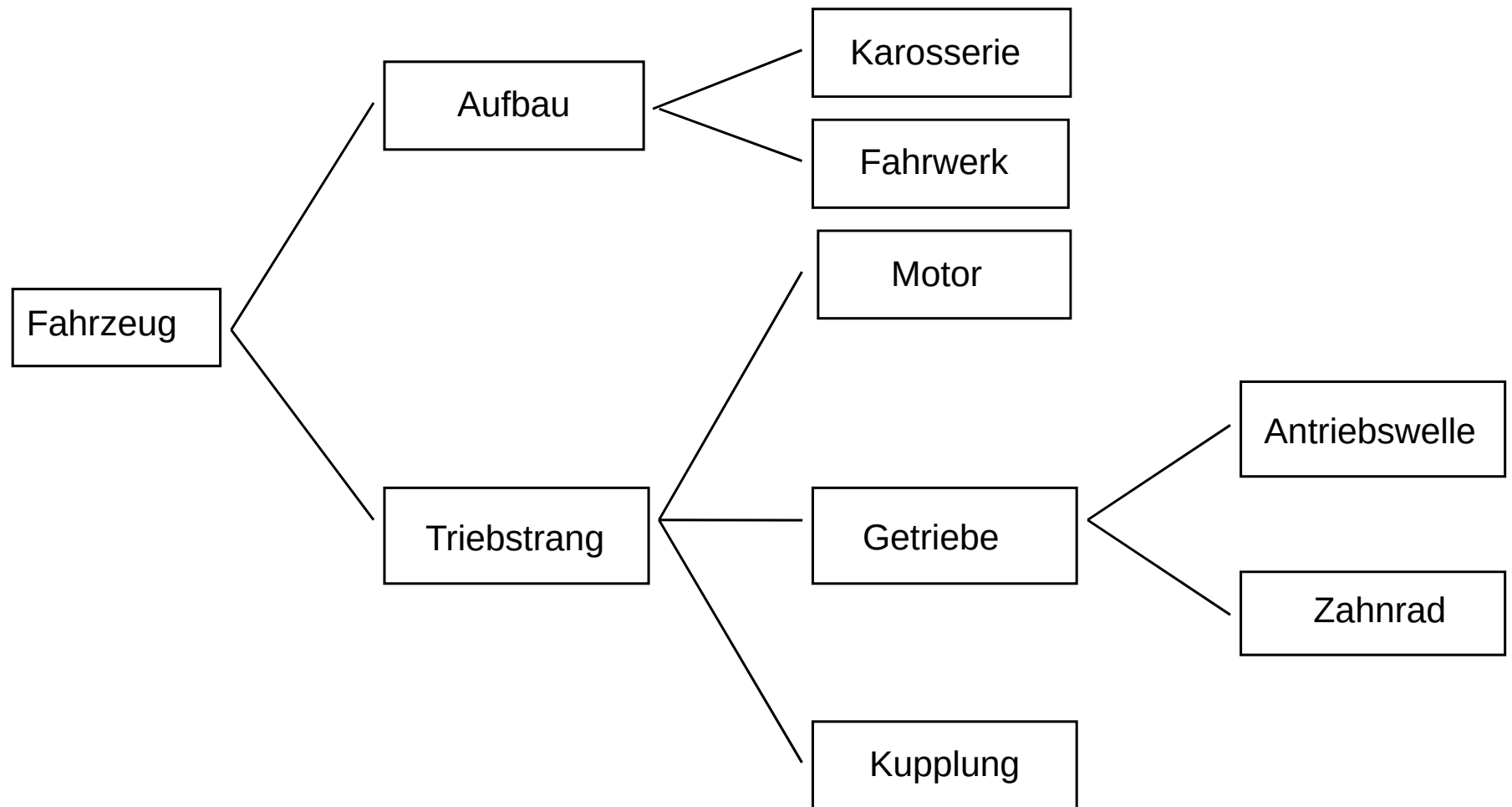
Bauteile = Fehlfunktionen der Bauteile

allg. für Ausfallart, Versagensart, Fehler

Fehlfunktionen der Bauteile sind hierbei physikalische Ausfallarten wie z.B. Bruch, Verschleiß, Klemmen, etc

		Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse										Seite von		
Typ/Modell/Fertigung/Charge:		Getriebe				Sach-Nr.:		Verantw.:		Abt.:				
						Änderungsstand:		Firma:		Datum:				
						Sach-Nr.:		Verantw.:		Abt.:				
						Änderungsstand:		Firma:		Datum:				
Bauteil/Merkmal	F(FA)	FF	FU	V/P	A	B	E	RPZ	Verbesserter Zustand	V/T	A	B	E	RPZ
Antriebswelle System-element (SE)	Lagersitz Antriebswelle verschleißt Fehlfunktionen des Bauteils (physik. Ausfallart)	Funktion Getriebe gestört, Liegenbleiber Fehlfunktionen des Getriebes	Härte Lagersitz zu niedrig Fehlfunktionen der Auslegung (z.B. Dimensionierung, Oberflächenhärte, Werkstoff)											

s. Abb. 4.23



s. Abb. 4.24

Prof. Bertsche

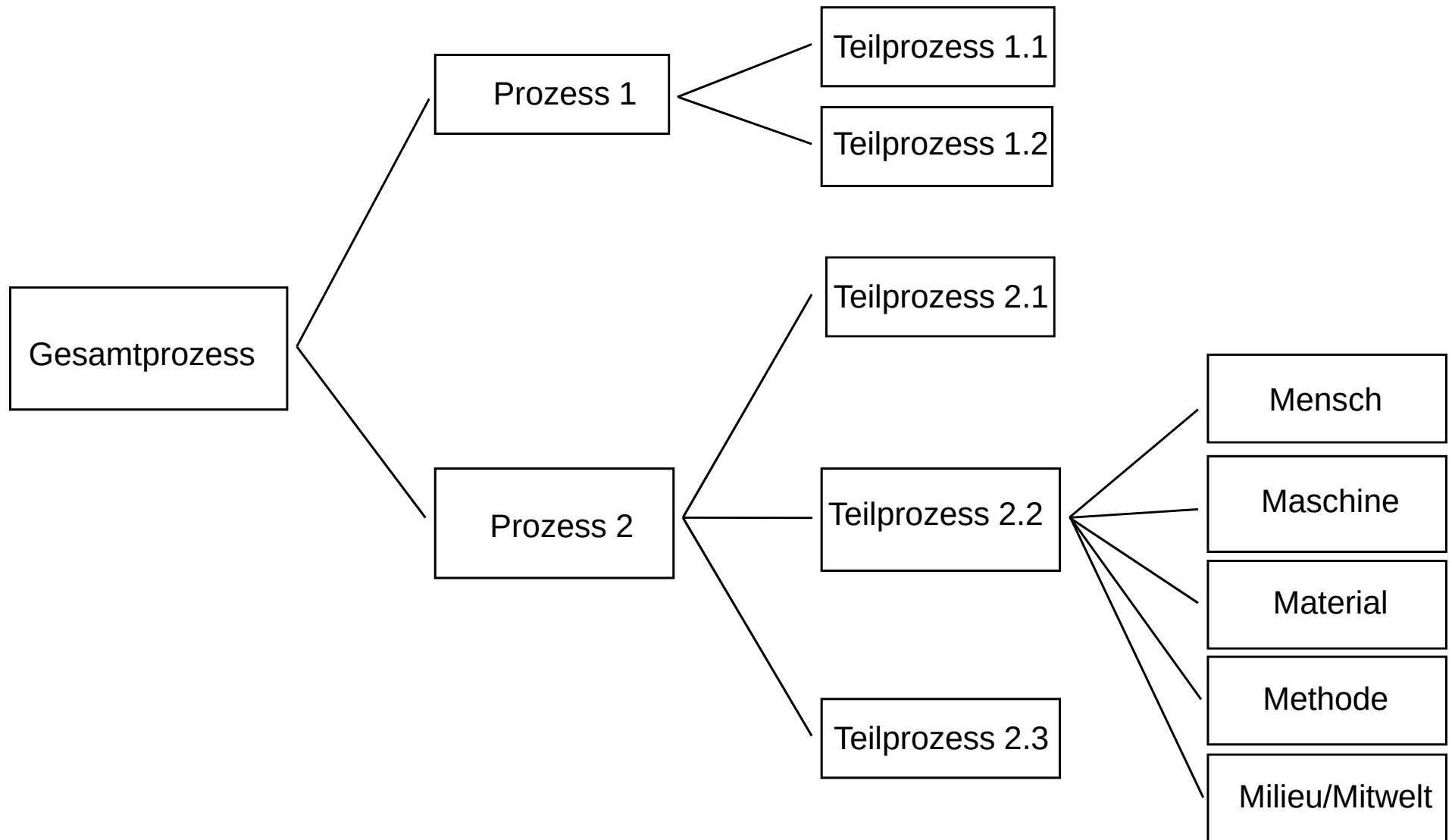
Prozess-FMEA (Übersicht):

betrachtet werden mögliche Fehlfunktionen eines Produktionsprozesses (Fertigung, Montage, Logistik, Transport, ...);

der Prozess wird über Systembeschreibung strukturiert;

die letzte Struktur-Ebene bilden: die „5 M's“

Mensch, **M**aschine, **M**aterial, **M**ethode, **M**ilieu/**M**itwelt



s. Abb. 4.25

Prof. Bertsche

Erstellung einer System-FMEA nach VDA 4:

erfolgt grundsätzlich in

5 Schritten:

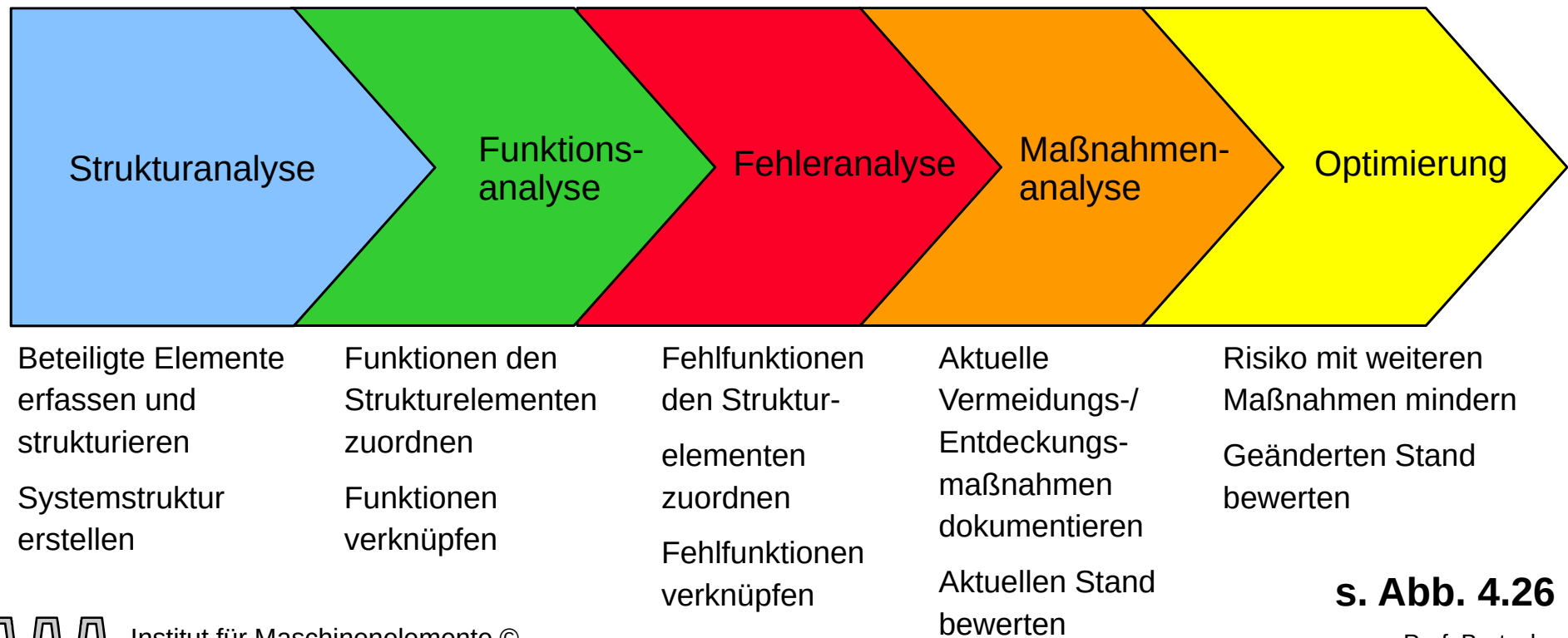
1. Schritt

2. Schritt

3. Schritt

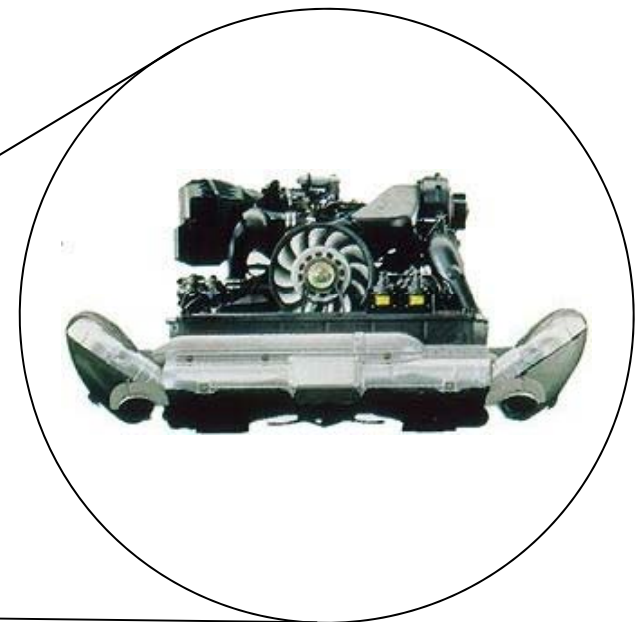
4. Schritt

5. Schritt



1. Strukturanalyse

- ① Das zu untersuchende System abgrenzen:
 - Definition der Schnittstellen der Konstruktion
 - Definition der Prozessschnittstellen



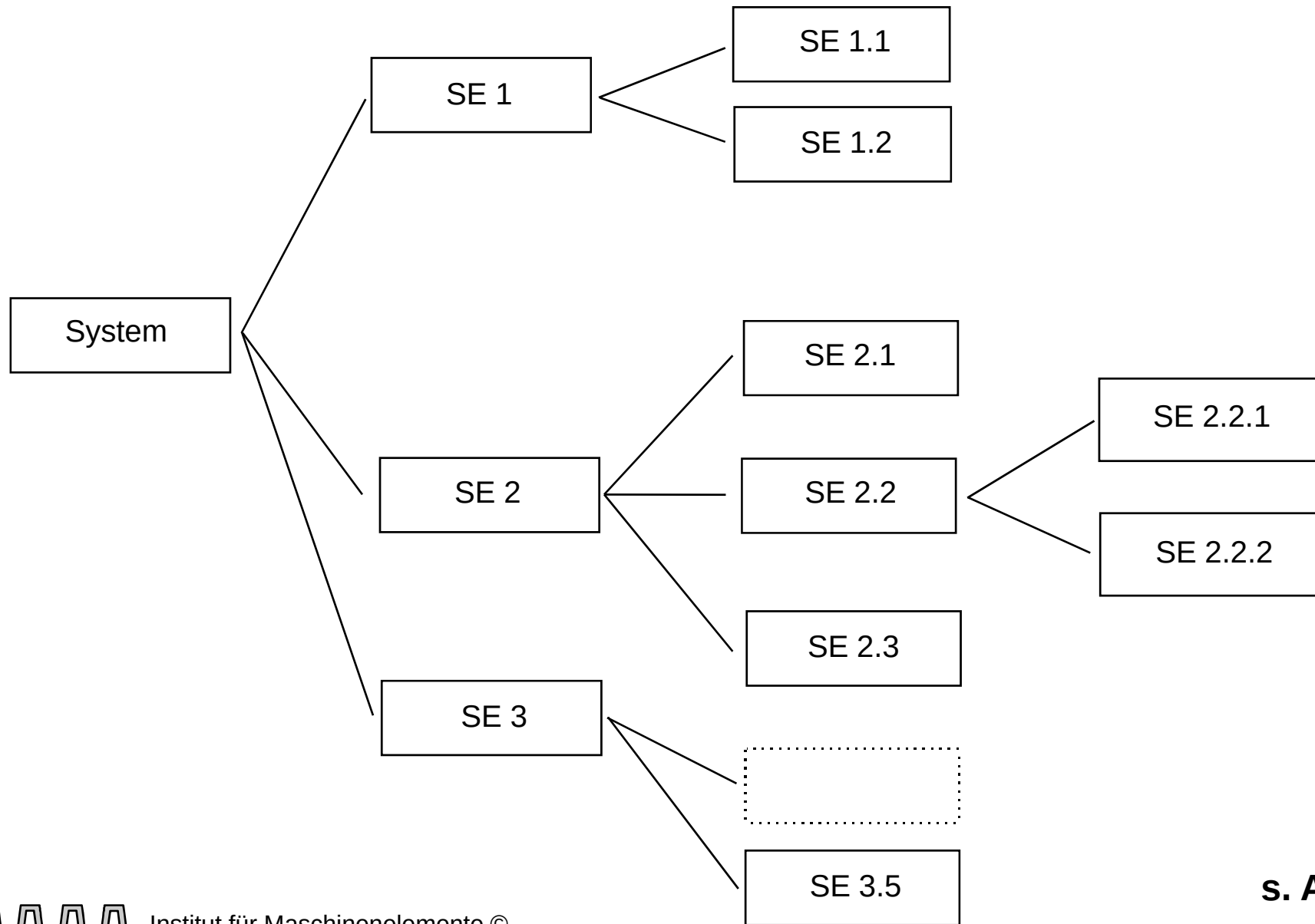
s. Abb. 4.27

Prof. Bertsche

② Das System aufteilen
in einzelne Systemelemente (SE),

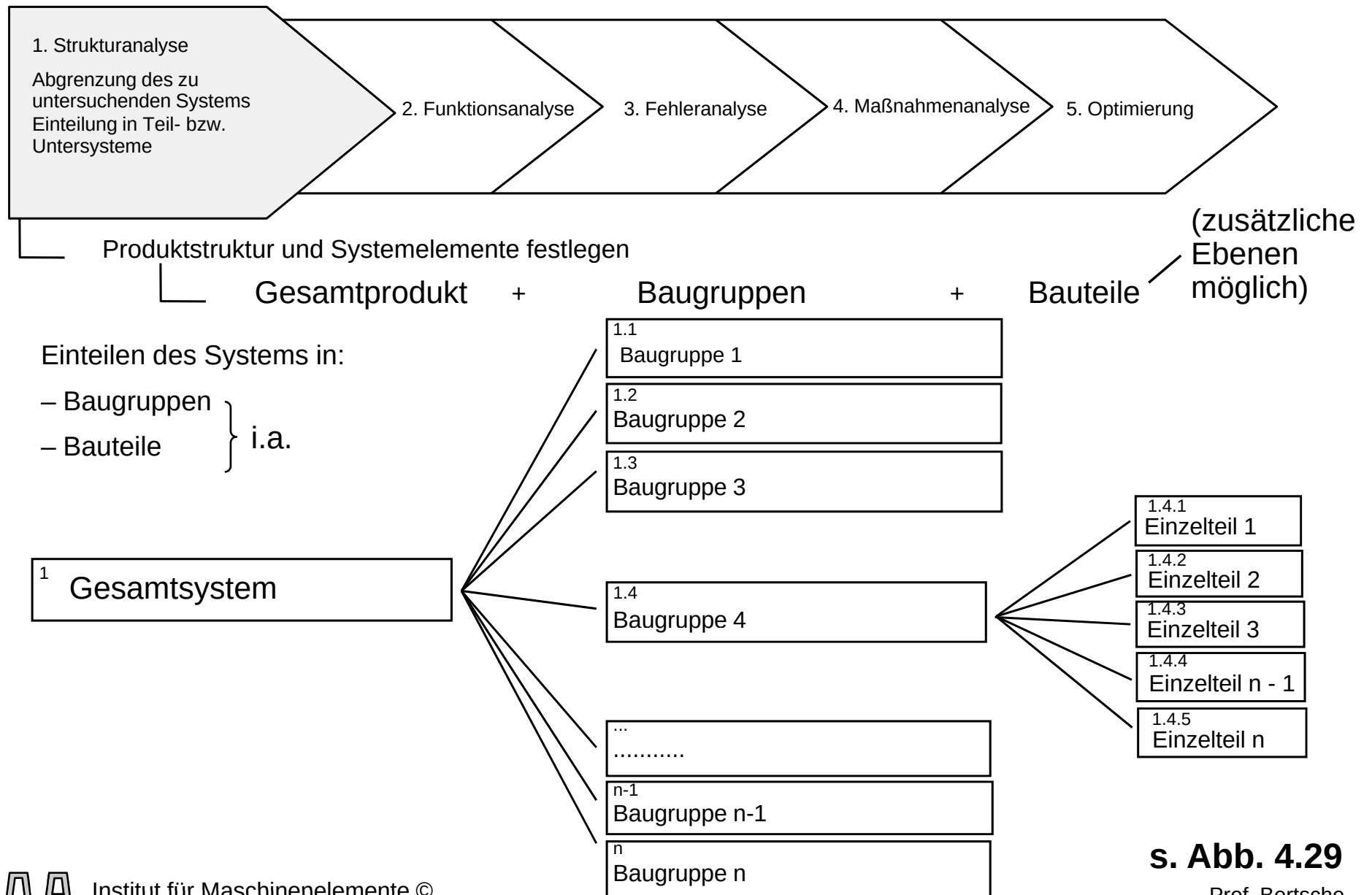
d.h. in Teilsysteme (Subsysteme) oder
Baugruppen oder
Funktionsgruppen oder
Bauteile oder ...

③ Die Systemelemente hierarchisch anordnen
in einer Systemstruktur (Systembaum)



s. Abb. 4.28

Prof. Bertsche



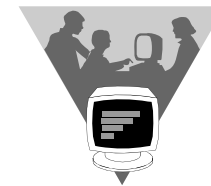
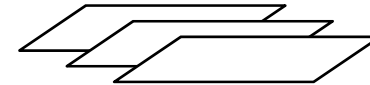
Bei der Bildung der Systemstruktur ist zu beachten:

- die Anzahl der Hierarchieebenen ist beliebig
- jedes Systemelement darf nur einmal vorkommen (Eindeutigkeit)
- zur besseren Übersichtlichkeit können einzelne Systemelemente nur zur Strukturierung eingesetzt werden („Dummy-SE's“); sie werden in der weiteren Analyse nicht verwendet

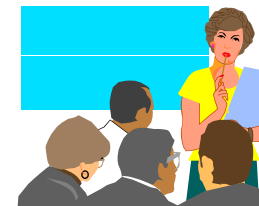
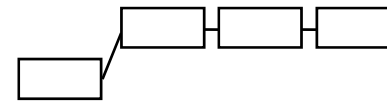
Hilfsmittel zur Erstellung des Strukturbaums

Konstruktion: - Zeichnungen
- Stücklisten
- Konstrukteur

5x Mutter
1x Niete
2x Tür
4x Rad



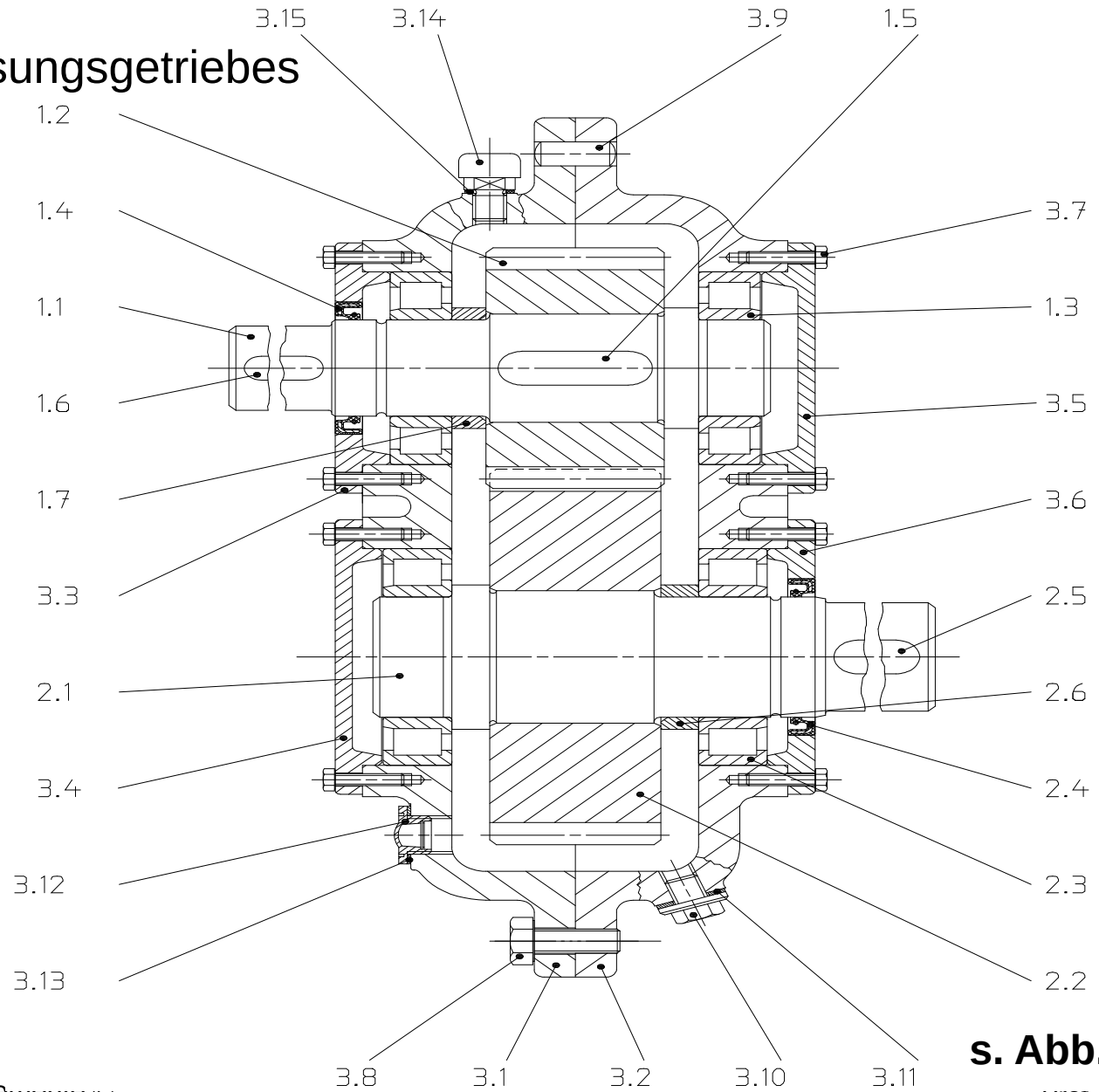
Prozess: - Prozessablaufplan
- Prozessplanung
- Fertigung
- Qualitätsplanung



s. Abb. 4.30

Prof. Bertsche

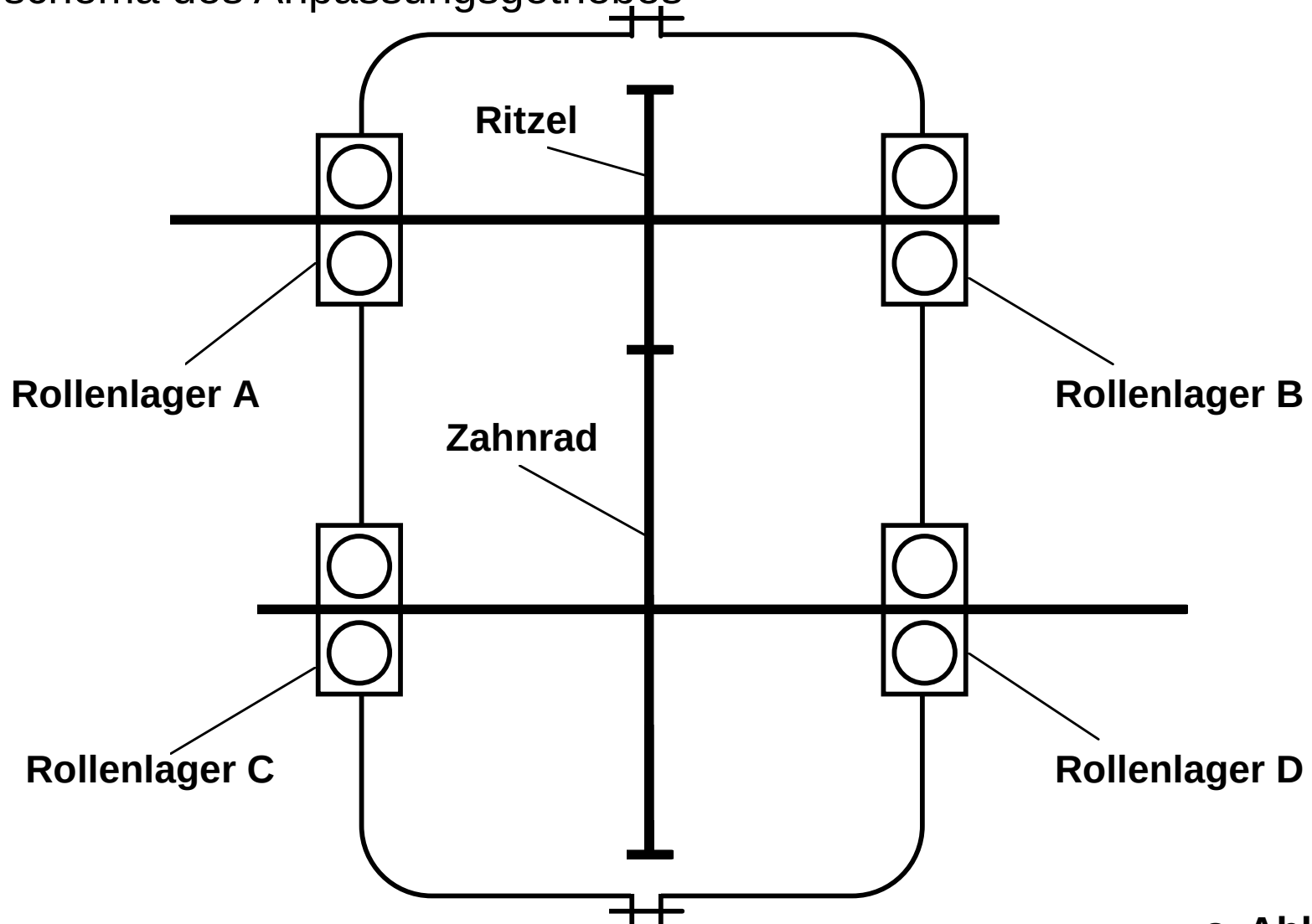
Schnittbild des Anpassungsgetriebes



s. Abb. 4.52

Prof. Bertsche

Getriebeschema des Anpassungsgetriebes



s. Abb. 4.52

Prof. Bertsche

Stückliste des Anpassungsgetriebes

Bau- gruppe	Bauteil- Nr.	An- zahl	Bauteil	Bezeichnung
1 Antrieb	1.1	1	Eingangswelle	EW
	1.2	1	Ritzel	ZR
	1.3	2	Rollenlager	RL1
	1.4	1	Radialwellendichtring	RD1
	1.5	1	Paßfeder für Ritzel	PF1
	1.6	1	Paßfeder für Kupplung	PF2
	1.7	1	Hülse	HS1
2 Abtrieb	2.1	1	Ausgangswelle	AW
	2.2	1	Zahnrad	ZD
	2.3	2	Rollenlager	RL2
	2.4	1	Radialwellendichtring	RD2
	2.5	1	Paßfeder	PF3
	2.6	1	Hülse	HS2

s. Tabelle 4.4



Institut für Maschinenelemente ©

UNI STUTTGART Zuverlässigkeitstechnik

Prof. Bertsche

Schritt 1 – Strukturanalyse

Stückliste des Anpassungsgetriebes

Bau- gruppe	Bauteil- Nr.	An- zahl	Bauteil	Bezeichnung
3 Gehäuse	3.1	1	Gehäuse links	GHL
	3.2	1	Gehäuse rechts	GHR
	3.3	1	Lagerdeckel	LD1
	3.4	1	Lagerdeckel	LD2
	3.5	1	Lagerdeckel	LD3
	3.6	1	Lagerdeckel	LD4
	3.7	16	Schraube Lagerdeckel	SRL
	3.8	8	Schraube Gehäuse	SRG
	3.9	2	Paßstift	PS
	3.10	1	Ölablaßschraube	ÖAS
	3.11	1	Dichtung für 3.10	DT1
	3.12	1	Schauglas	SG
	3.13	1	Dichtung für 3.12	DT2
	3.14	1	Entlüfter	EL
	3.15	1	Dichtung für 3.14	DT3

s. Tabelle 4.4

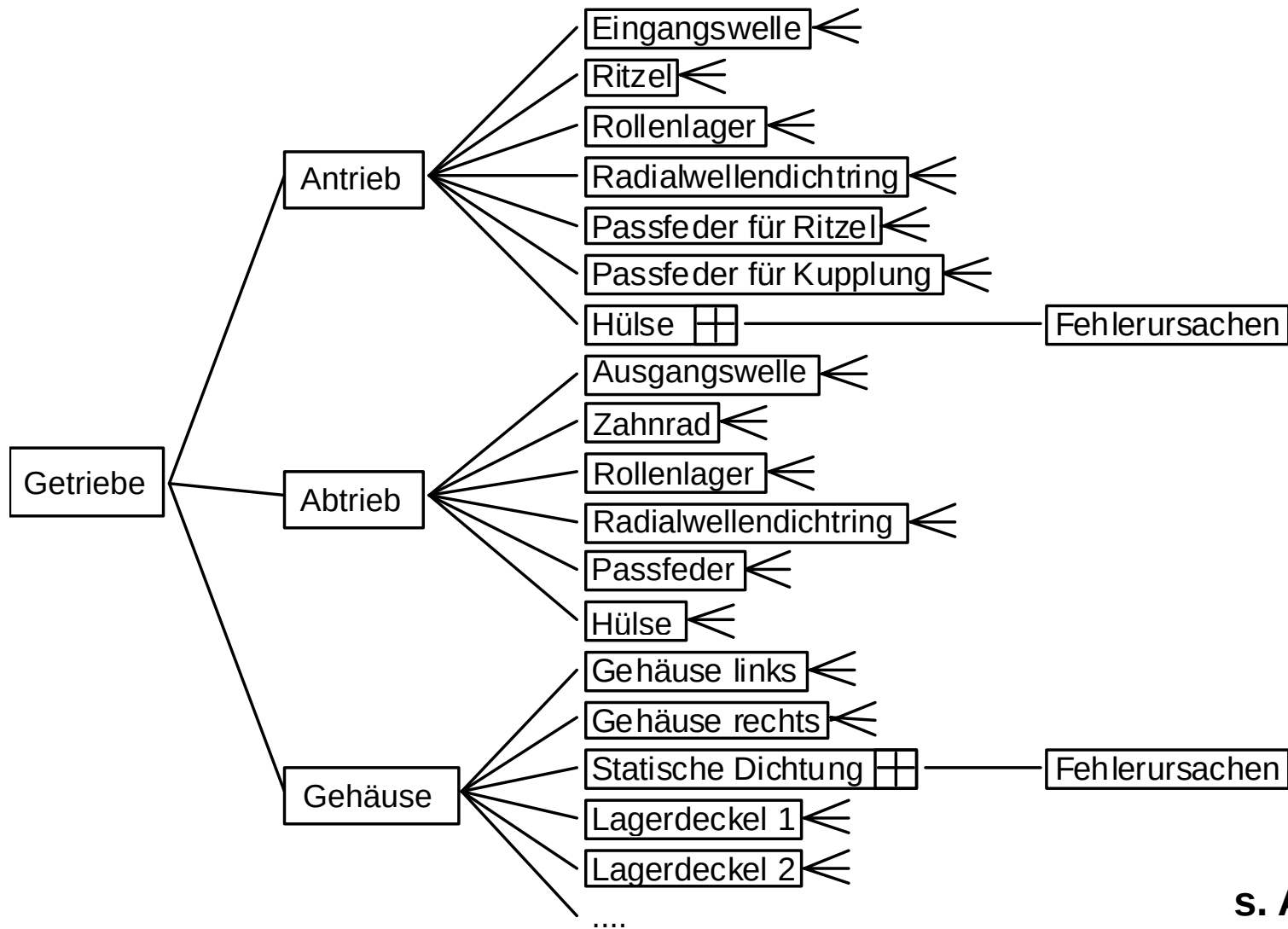
Prof. Bertsche



IMI Institut für Maschinenelemente ©
UNI STUTTGART Zuverlässigkeitstechnik

Schritt 1 – Strukturanalyse

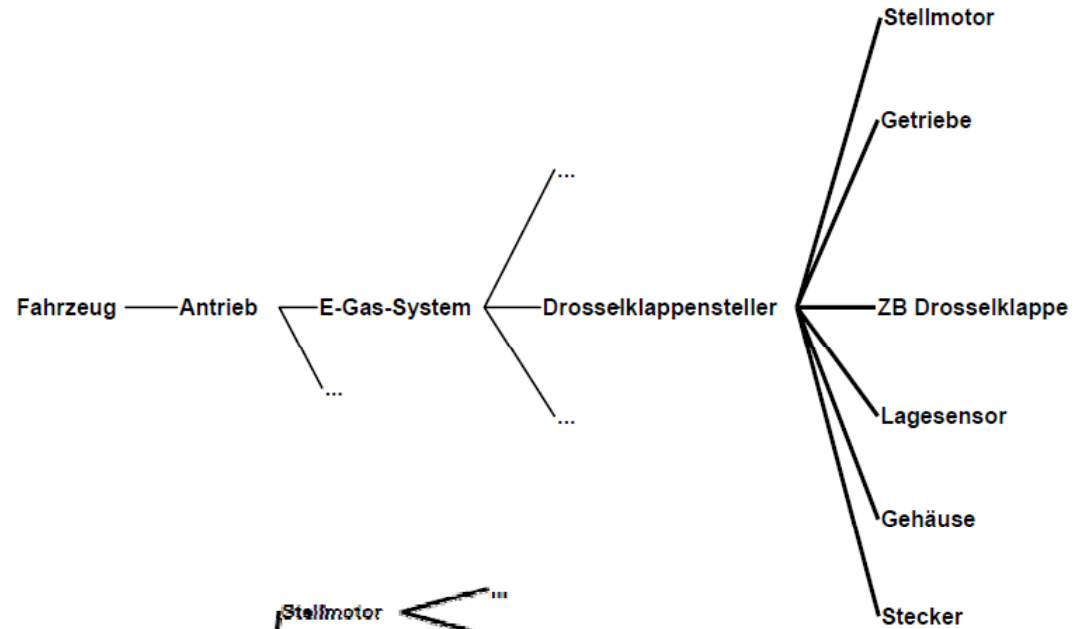
Systemstruktur des Anpassungsgetriebes



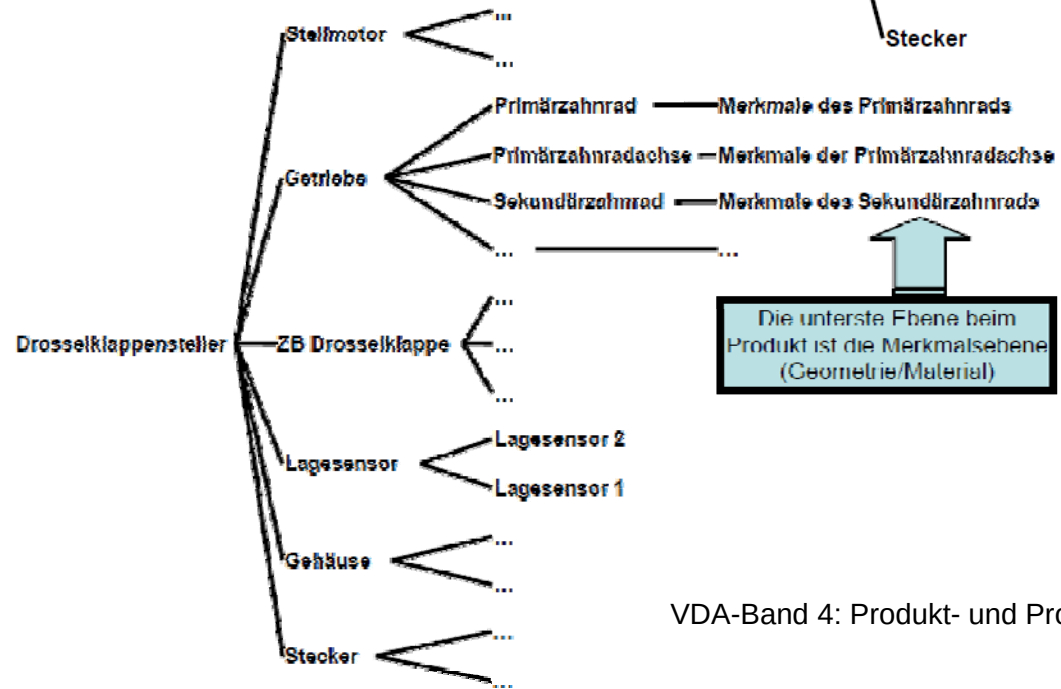
s. Abb. 4.53

Prof. Bertsche

Systemstruktur bis zur Komponentenebene



Systemstruktur bis zur Merkmalsebene der Komponenten



VDA-Band 4: Produkt- und Prozess-FMEA

Prof. Bertsche

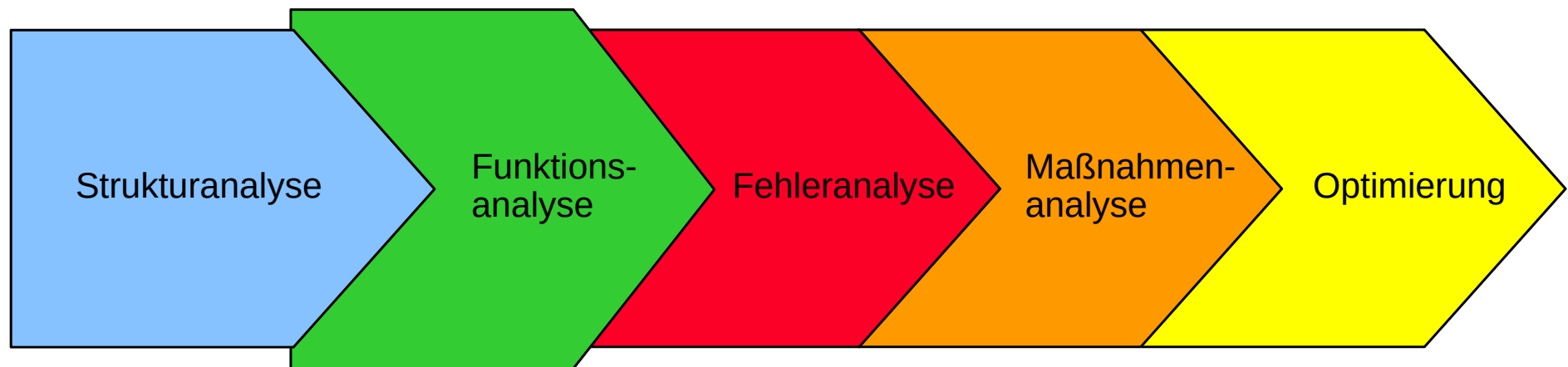
1. Schritt

2. Schritt

3. Schritt

4. Schritt

5. Schritt



Funktionen den
Strukturelementen
zuordnen

Funktionen
verknüpfen

2. Funktionsanalyse

Die Einteilung in Systemelemente (SE) ist

Basis, um entsprechend genau Funktionen und Fehlfunktionen festzulegen

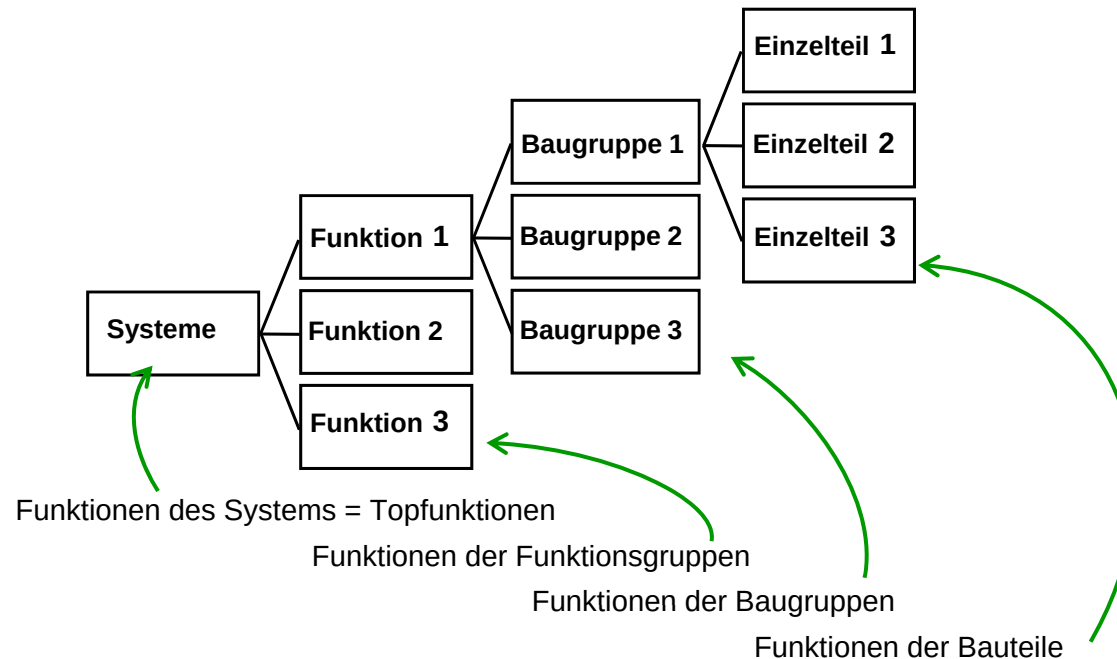
Mögliche Vorgehensweisen:

a) Ermittlung der Funktionen

„top-down“,

d.h. ausgehend von Topfunktionen des Systems werden die Funktionen (Funktionsbeiträge der nachgeordneten Systemelemente) ermittelt

Funktionsanalyse bei der FMEA



Die Erfüllung der Topfunktionen führt zu den Funktionen der verschiedenen Hierarchieebenen

b) Ermittlung der Funktionen

einzelne je Systemelement;

Voraussetzung hierfür:

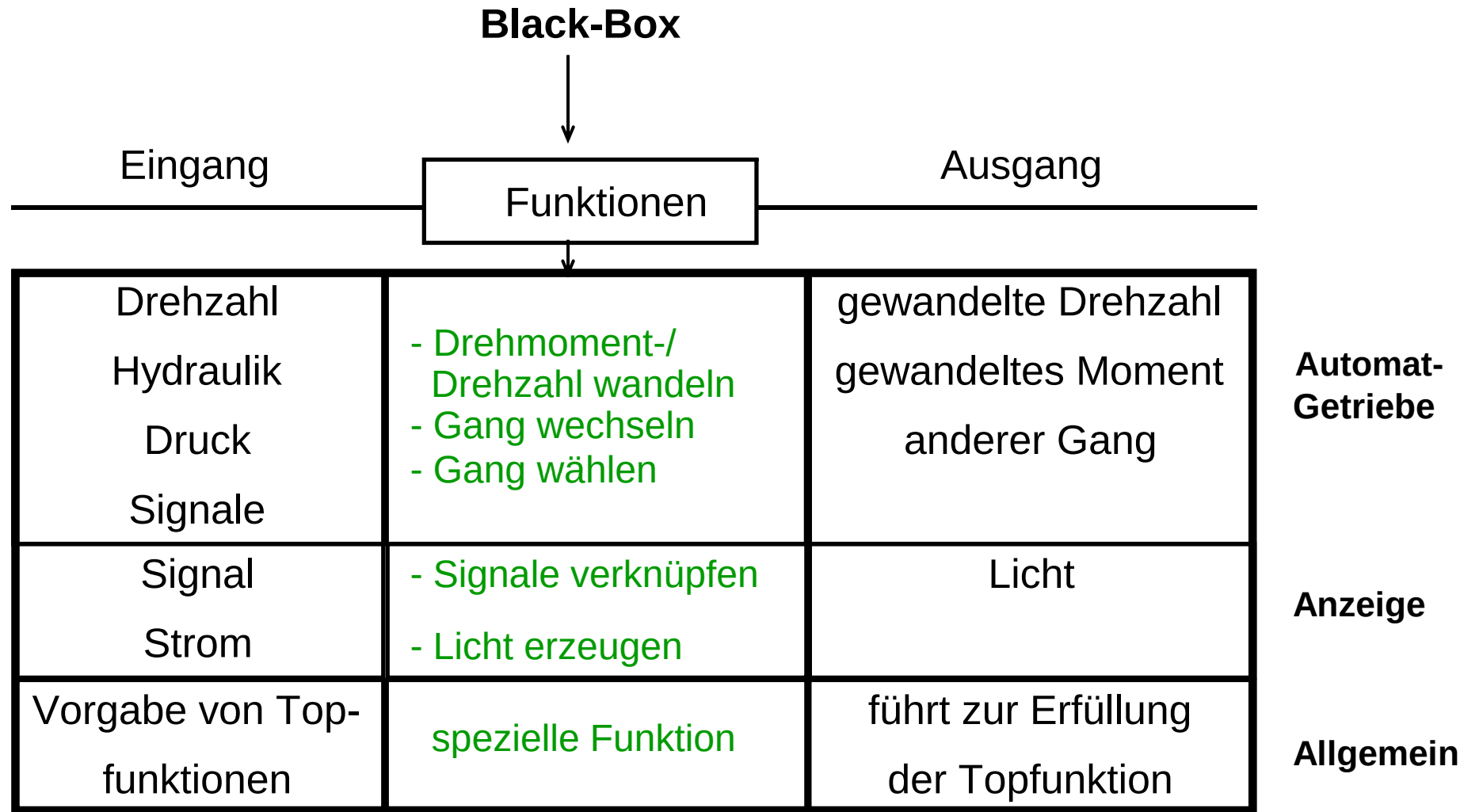
Kenntnis der Einsatzbedingungen, z.B. durch
Lastenheftangaben: Belastung, Hitze, Schwingungen, ...

Allgemeine Hilfsmittel:

- „Black Box“,
- Leitlinie aus Konstruktionsmethodik

\

Such- bzw. Anregungsliste mit übergeordneten Begriffen



Übergeordnete Begriffe

Geometrie	Größe, Höhe, Breite, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluss, Ausbau und Erweiterung
Kinematik	Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung
Kräfte	Kraftgröße, Kraftrichtung, Krafthäufigkeit, Gewicht, Last, Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, Resonanzen
Energie	Leistung, Wirkungsgrad, Verlust, Reibung, Ventilation, Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Erwärmung, Kühlung, Anschlussenergie, Speicherung, Arbeitsaufnahme, Energieumformung
Stoff	Physikalische und chemische Eigenschaften des Eingangs- und Ausgangsprodukts, Hilfsstoffe, vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetz), Materialfluss und -transport
Signal	Eingangs- und Ausgangssignale, Anzeigeart, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalform
Sicherheit	Unmittelbare Sicherheitstechnik, Schutzsysteme Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung, Bedienung, Bedienungsart, Übersichtlichkeit, Beleuchtung, Formgestaltung
Fertigung	Einschränkung durch Produktionsstätte, größte herstellbare Abmessung, bevorzugtes Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, mögliche Qualität und Toleranzen
Kontrolle	Meß- und Prüfmöglichkeiten, besondere Vorschriften (TÜV, ASME, DIN, ISO, AD-Merkblätter)
Montage	Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierung
Transport	Begrenzung durch Hebezeug, Bahnprofil, Transportwege nach Größe und Gewicht, Versandart
Gebrauch	Geräuscharmheit, Verschleißrate, Anwendung und Absatzgebiet, Einsatzort (Tropen, ..)
Instandhaltung	Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung, Inspektion, Austausch und Instandsetzung, Anstrich, Säuberung
Recycling	Wiederverwendung, Wiederverwertung, Entsorgung, Endlagerung, Beseitigung
Kosten	Max. zulässige Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition und Amortisierung
Termin	Ende der Entwicklung, Netzplan für Zwischenschritte, Lieferzeit



Institut für Maschinenelemente ©

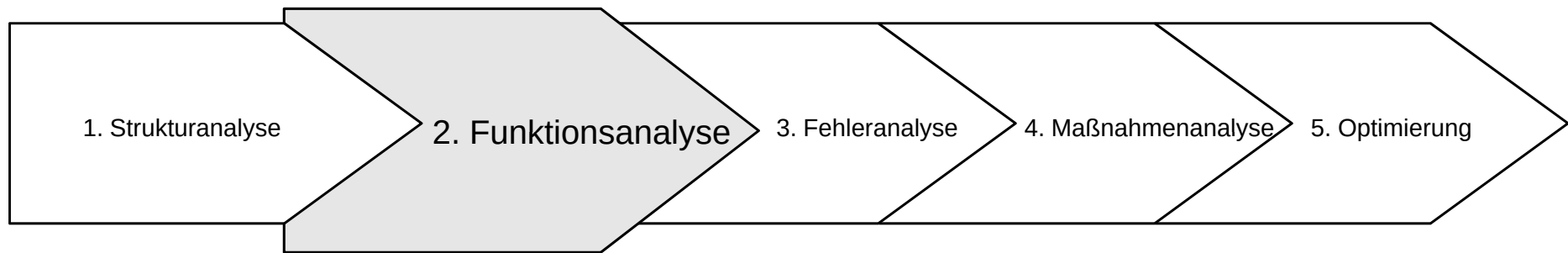
UNI STUTTGART Zuverlässigkeitstechnik

Leitlinie für Anforderungsliste (nach Pahl/Beitz)

s. Abb. 4.33

Prof. Bertsche

Leitlinie als Hilfsmittel zur Funktionsermittlung

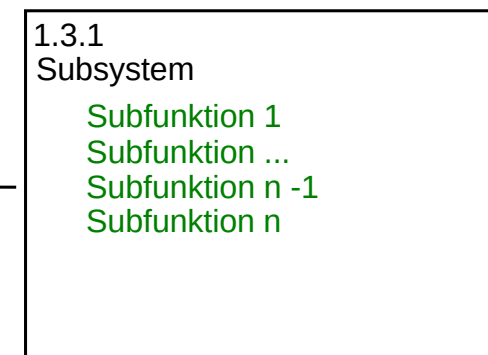
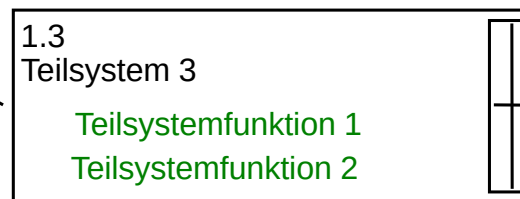
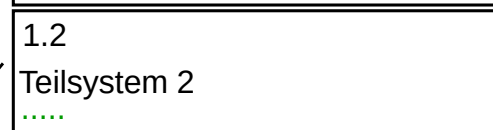
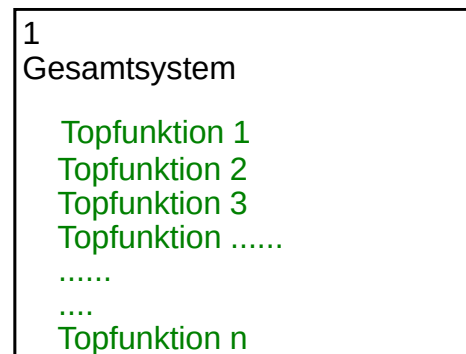


└ Funktionen der Systemelemente

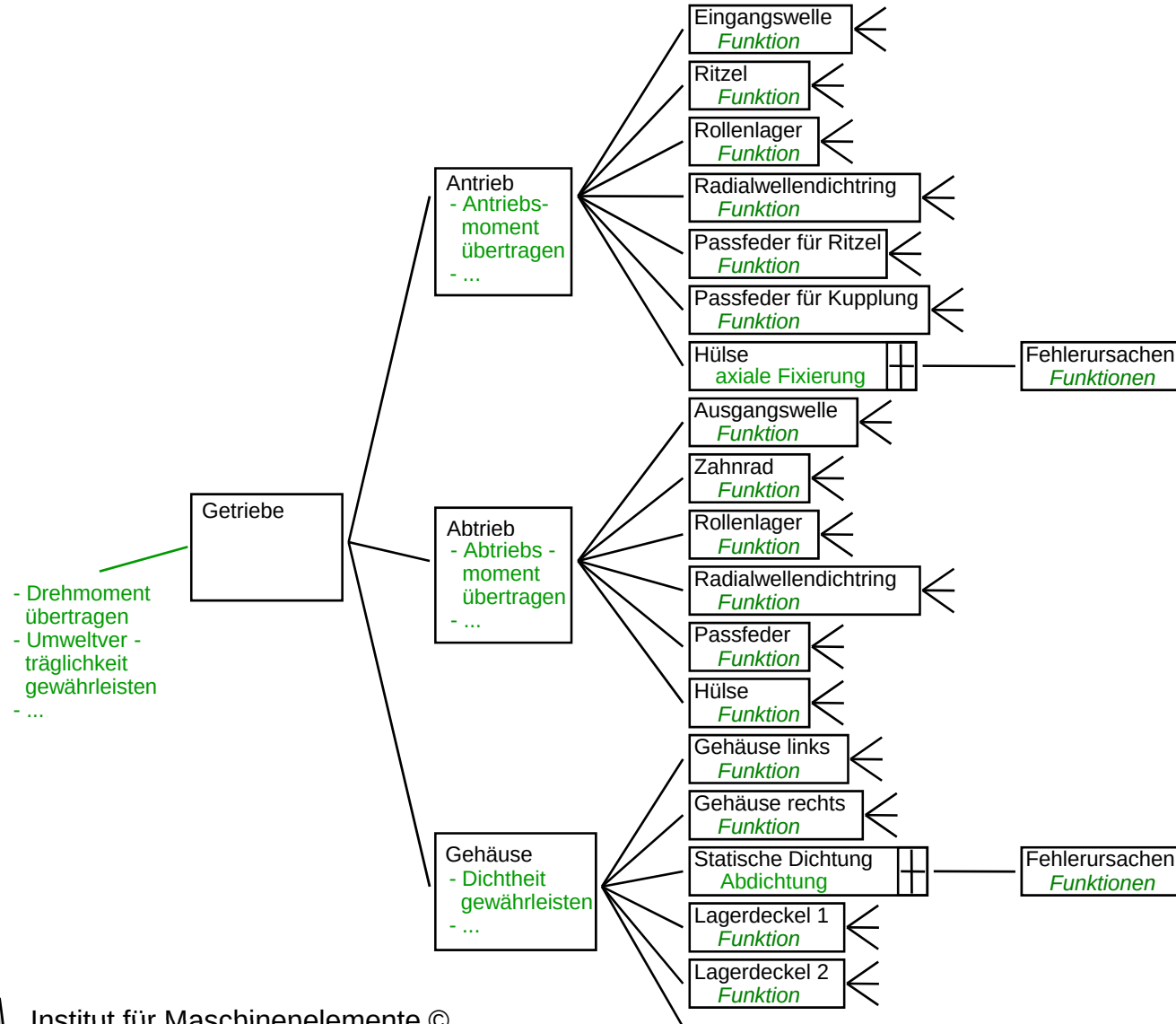
└ Gesamtsystemfunktion + Teilsystemfunktionen + Subsystemfunktionen

(Produktziele:

- Qualitätsmerkmale
- Vorgabe aus der Konstruktion
- Vorgänger FMEA)

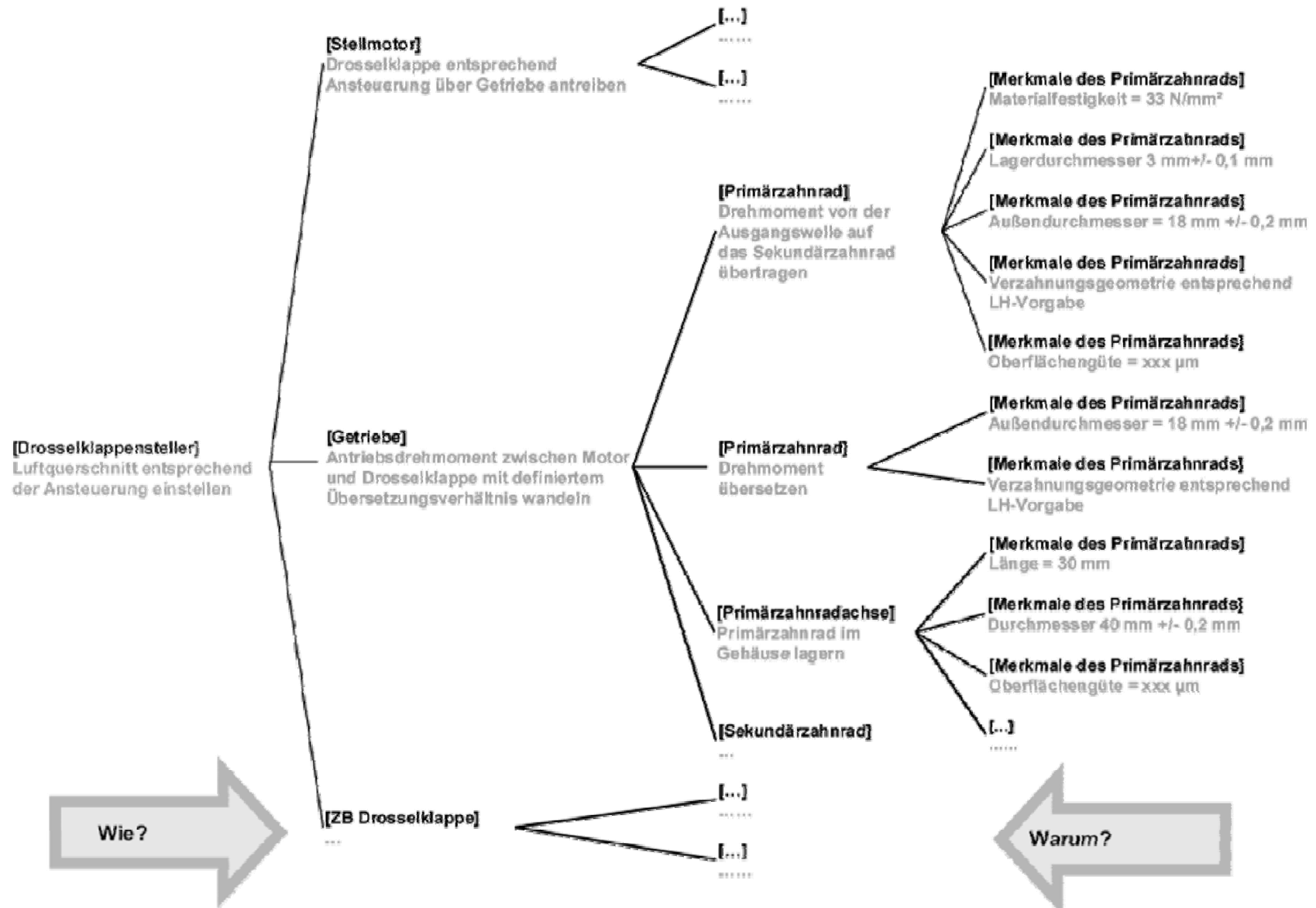


Funktionsstruktur des Anpassungsgetriebes (Auszug)



s. Abb. 4.54

Prof. Bertsche



VDA-Band 4: Produkt- und Prozess-FMEA

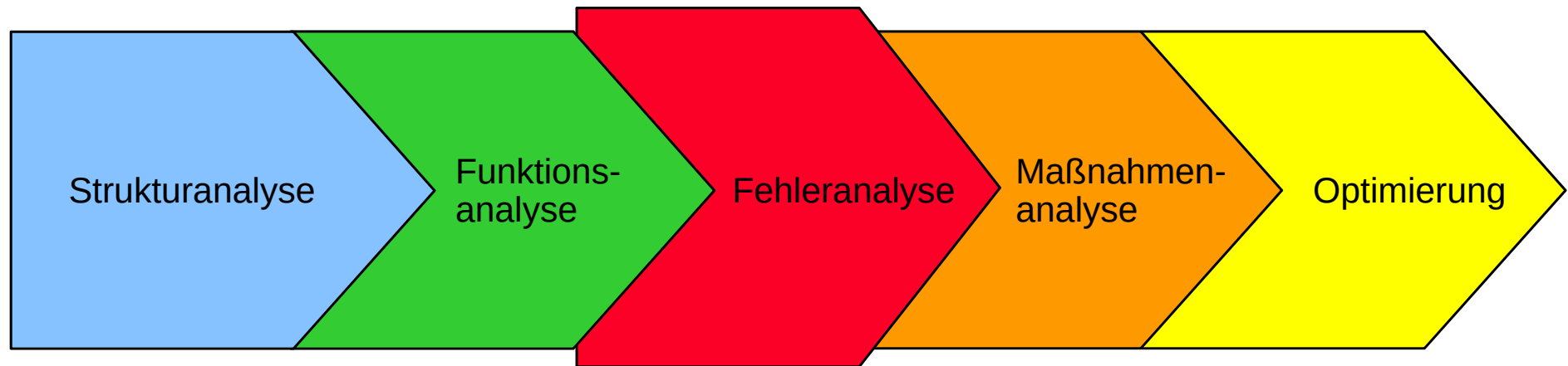
1. Schritt

2. Schritt

3. Schritt

4. Schritt

5. Schritt



Fehlfunktionen
den Struktur-
elementen
zuordnen
Fehlfunktionen
verknüpfen

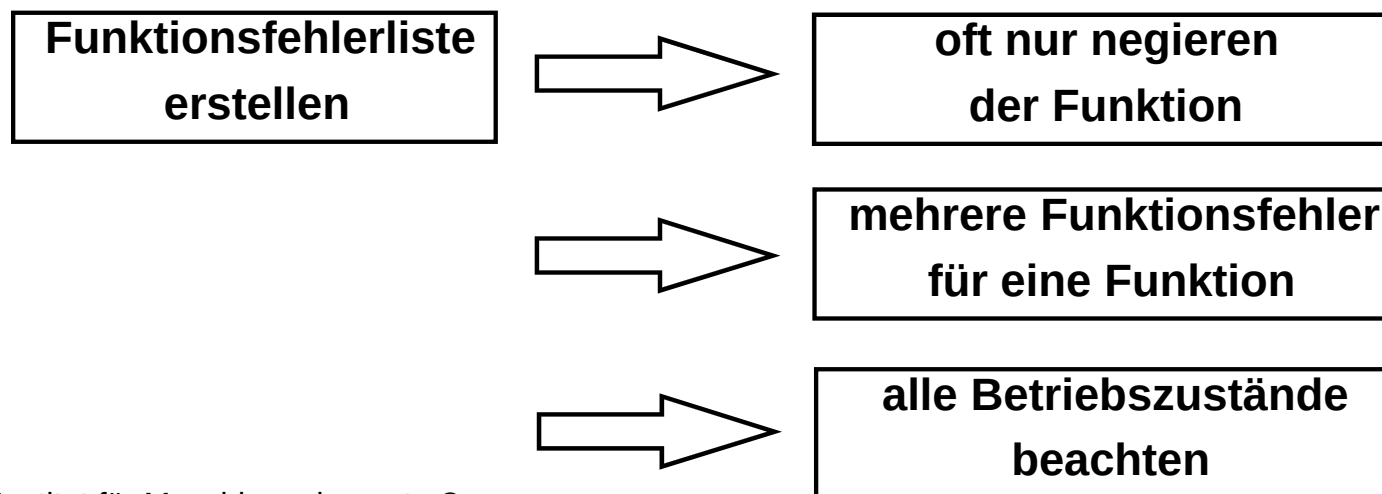
3. Fehleranalyse

Für jedes Systemelement kann eine Fehleranalyse durchgeführt werden;

Fehleranalyse ist:

Ermittlung der Fehlfunktionen,
d.h. - Nichterfüllung der Funktion oder
- eingeschränkte Funktion

Bei abstrakten Funktionen oft:



s. Abb. 4.35

Prof. Bertsche

Auf tiefen Systemebenen, i.a. Bauteilebene,

Fehlfunktionen = physikalische Ausfallarten

sind Fehler-/Ausfallart bei
Konstruktions-FMEA

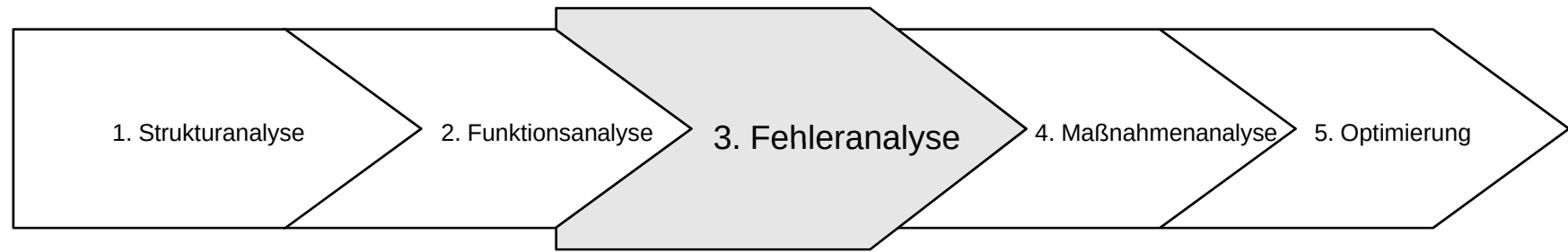
Ermittlung der Fehlerarten durch:

- Schadensstatistiken
- Erfahrungen der FMEA-Teammitglieder
- Checklisten (Ausfallarten)
- Kreativitätstechniken (Brainstorming, 635, Delphi, ...)
- Systematisch über Funktionen bzw. Fehlfunktionen /Fehlerbäume)

Hilfreich: Leitlinie

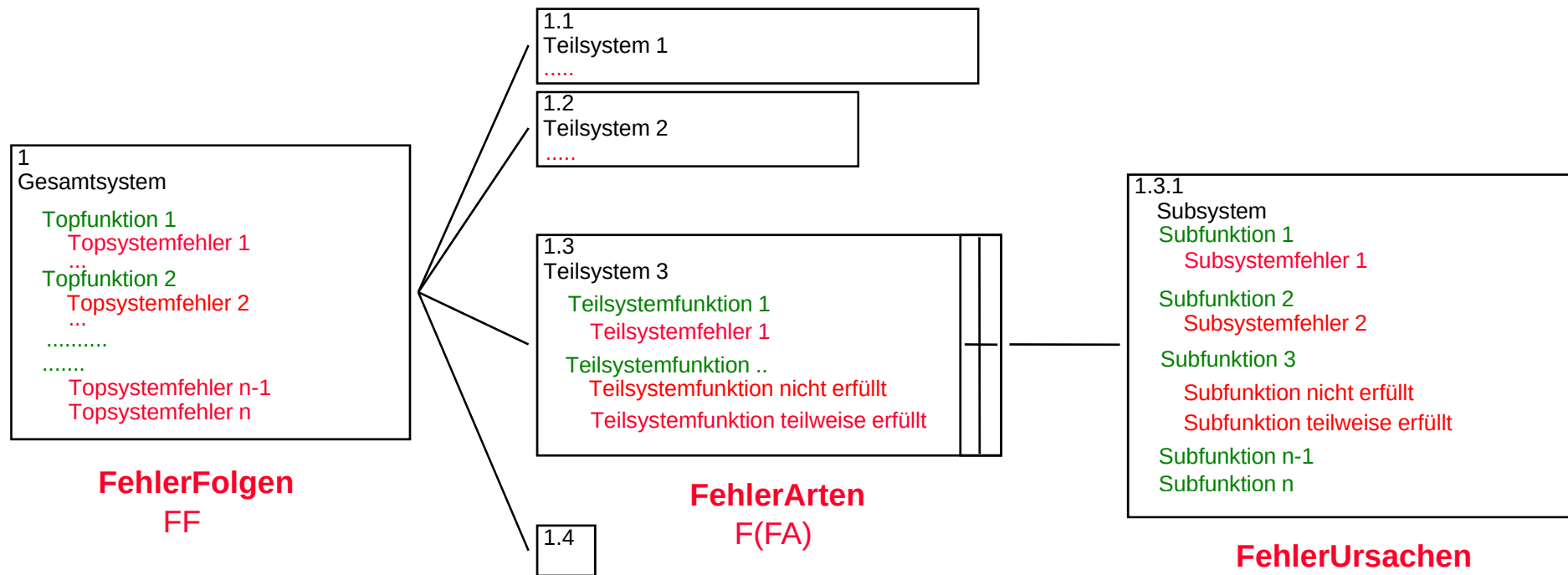
- | | |
|---|--|
| ○ Ermüdung (auch Setzen, Pittings, ...) | ○ klemmt, schwergängig |
| ○ Bruch, Anriss | ○ Reibung (zu gering, zu hoch) |
| ○ korrodiert | ○ gefressen |
| ○ gelockert, lose, wackelt, löst sich | ○ Schmierung (zu gering, zu hoch) |
| ○ verbrannt | ○ fällt ab |
| ○ Kurzschluss | ○ eingefallen |
| ○ Unterbrechung | ○ Leistungsabfall |
| ○ Drift | ○ abgezogen |
| ○ Funktionsfehler | ○ hoher Widerstand |
| ○ Blockierung | ○ Farbunterschied |
| ○ Vibration, Schwingung | ○ Fluchtungsfehler, Ausrichtungsfehler, falsche Lage |
| ○ verunreinigt | ○ Aufnahme zum Gegenteil falsch |
| ○ verstopft | ○ Schmutz-, Wassereintritt |
| ○ undicht | ○ dejustiert, verdreht, verstellt |
| ○ geplatzt | ○ Verschmutzung |
| ○ drucklos | ○ vertauscht, falsches Teil |
| ○ Druck falsch | ○ fehlt, verloren |
| ○ deformiert, verformt, verbeult, überdehnt, durchbiegen, durchhängen | ○ Lunker |
| ○ beschädigt | ○ maßlich abweichend |
| ○ verschlissen (frühzeitig) | ○ Oberflächenhärte, Rauheit weicht ab |
| ○ Berührung mit Nachbarteilen | ○ |
| | ○ |
| | ○ |

s. Tabelle 4.1



↪ Fehlfunktionen der Systemelemente festlegen

↪ Gesamtsystemfehler + Teilsystemfehler + Subsystemfehler



s. Abb. 4.36

Fehlerzusammenhänge:

- Mögliche Fehler (F) des betrachteten SE sind seine aus den bekannten Funktionen abgeleiteten und beschriebenen Fehlfunktionen, z.B. Nichterfüllung der Funktion oder eingeschränkte Funktion.
- Die möglichen Fehlerursachen (FU) sind die denkbaren Fehlfunktionen der untergeordneten SE und der über Schnittstellen zugeordneten SE.
- Die möglichen Fehlerfolgen (FF) sind die sich ergebenden Fehlfunktionen der übergeordneten SE und der über Schnittstellen zugeordneten SE.

Beispiel:

- Fehlerart: - plötzlicher Druckverlust eines Autoreifens;
- mögliche Fehlerursache: - spitzer Gegenstand (z.B. Nagel) auf der Straße;
- mögliche Fehlerfolgen: - Fahrzeug bricht aus und verunfallt,
Fahrzeug ist fahruntüchtig.

- falsche Materialwahl
- unvorhergesehene, unzulässige Belastung
- Materialfehler
- Auslegungsfehler
- falsche Oberflächenhärte
- zu hohe Betriebstemperatur
- Schmiermittelmangel
- Korrosion
- falsche Toleranzwahl
- Beschädigung der Dichtfläche
- undicht
- Verschluss
- Ermüdung
- falscher Einbau
- ungenügende Erprobung
- Personalfluktuation
- Missverständnis
- fehlende Kontrolle

•
•
•

s. Tabelle 4.2

Prof. Bertsche

Zwei Vorgehensweisen möglich:

a) Definition Funktionen bis auf Bauteilebene; aus Bauteilfunktionen:

→ Bauteilfehlfunktionen = Ausfallarten (Beispiel Hülse)

b) Definition Funktionen nur bis Bau- bzw. Funktionsgruppenebene;
Bauteil-Funktion = „Dummy“-Funktion;

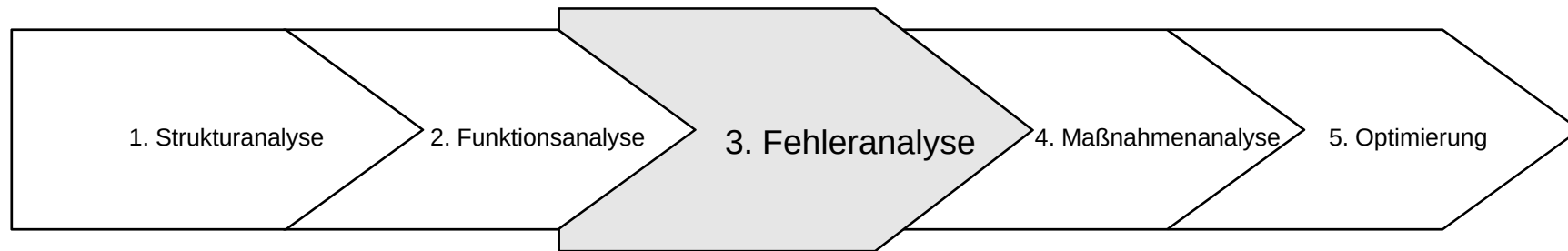
aus bzw. über

→ Fehlfunktionen der Bau- bzw. Funktionsgruppen
→ Ausfallarten der Bauteile (Beispiel Dichtungen)

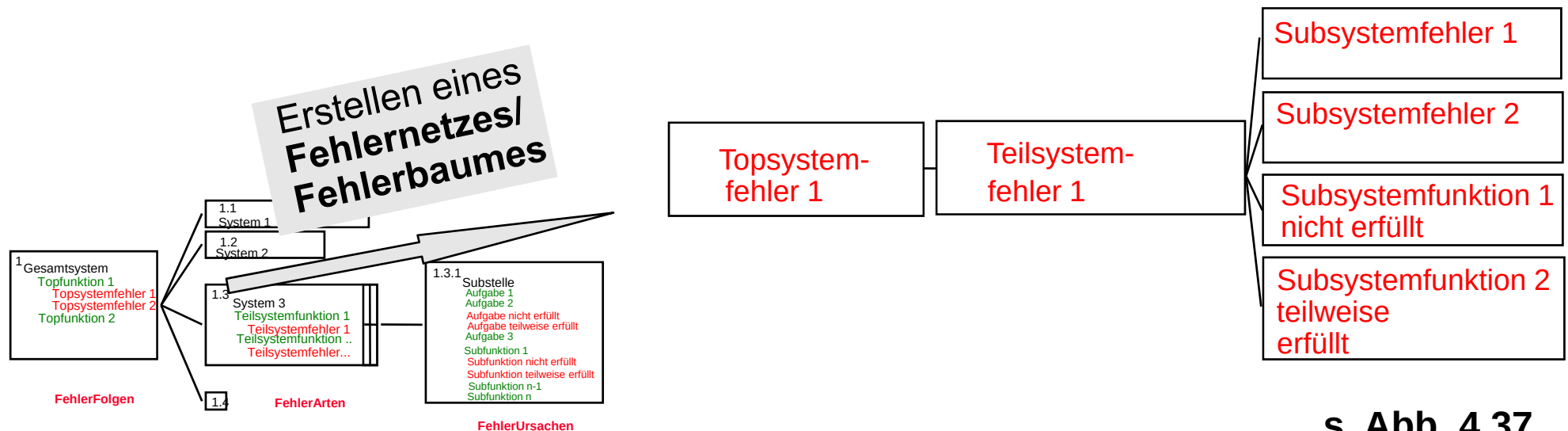
Fehlfunktionsstrukturen:

Die ermittelten Fehlfunktionen werden verknüpft zu

- Fehlerbäumen / Fehlfunktionsbäumen bzw.
- Fehlernetz

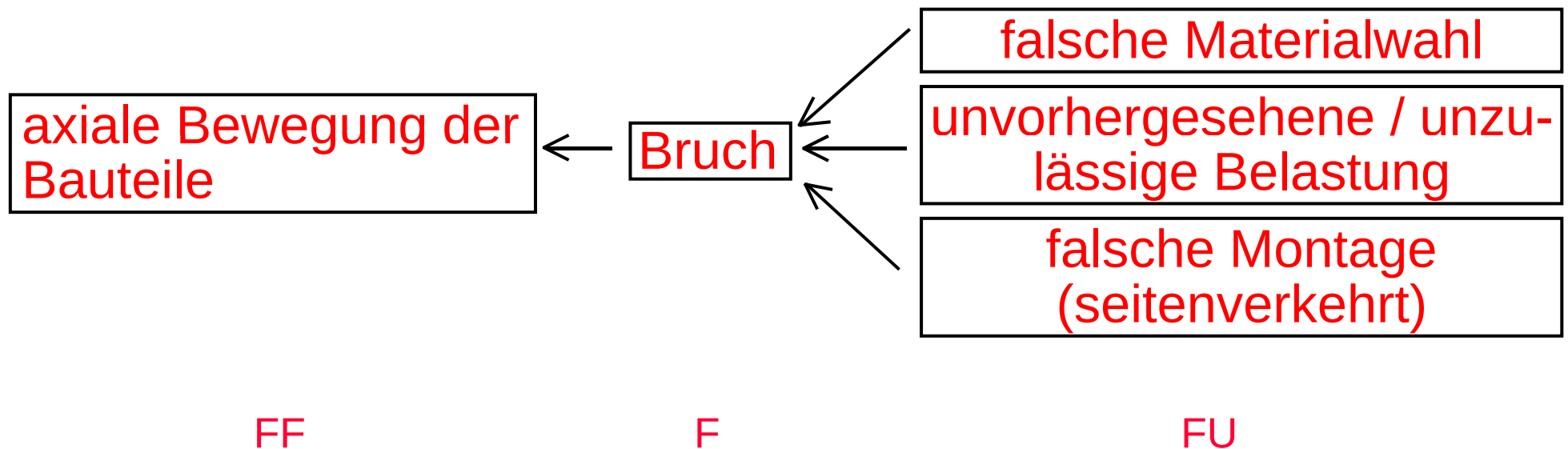


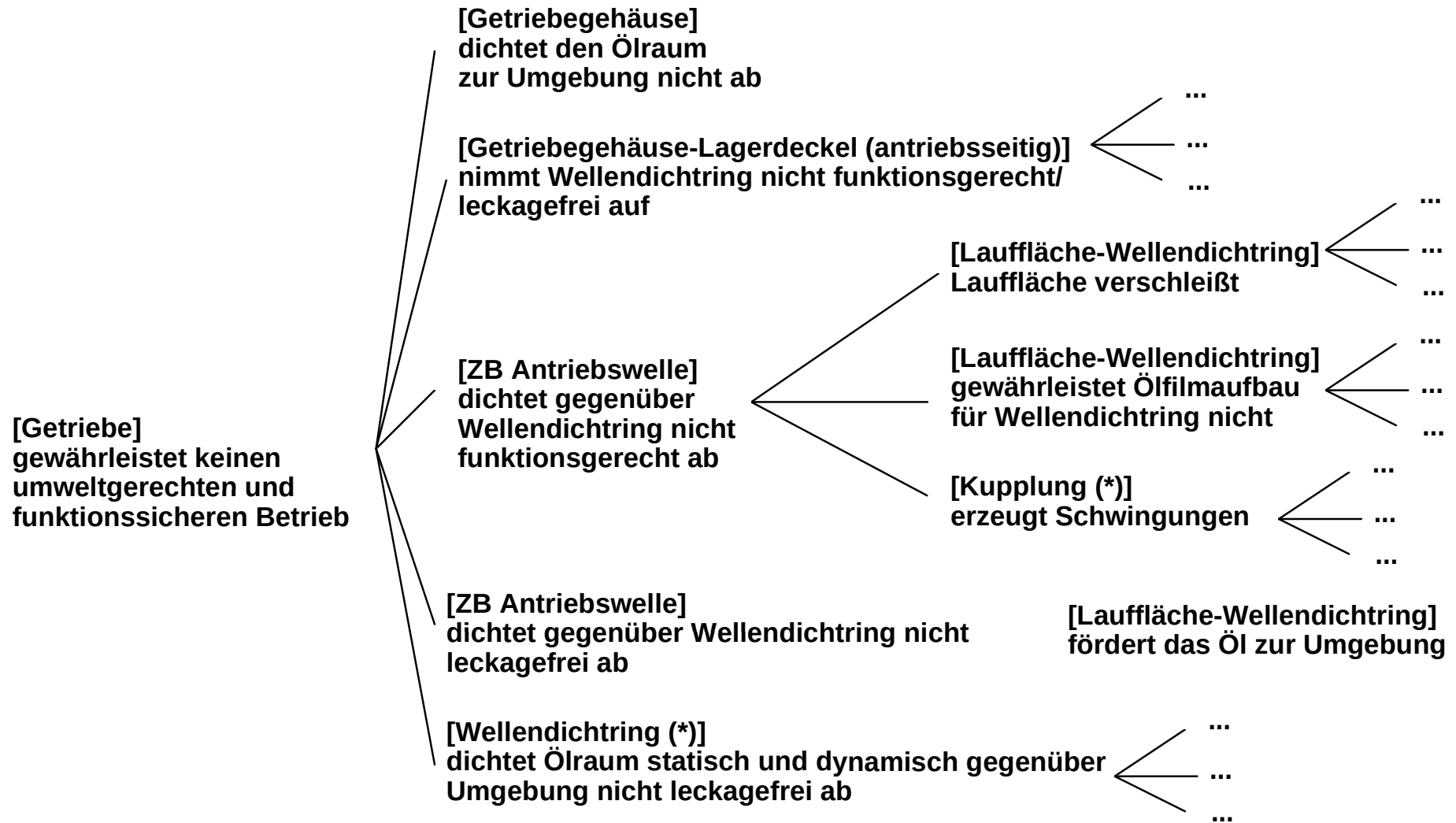
↪ Fehlfunktionen zu Fehlernetz / Fehlerbaum verknüpfen



s. Abb. 4.37

Prof. Bertsche





(*) System-FMEA Produkt (Zulieferteile)

s. Abb. 4.39

Prof. Bertsche

Die Inhalte der Fehlfunktionsstrukturen werden im Formblatt als

„Fehlerfolge“ (FF),
„Fehlerart“ (FA) und
„Fehlerursache“ (FU)

abgebildet (je nach Wahl der Ebene).

Die FMEAs, die auf den verschiedenen Ebenen durchgeführt werden überlappen sich.

FA einer Ebene → FF der nächst unteren Ebene
→ FU der nächst oberen Ebene

Triebstrang

FF	F	FU
gewährleistet keinen störungsfreien/ wirtschaftlichen Betrieb gemäß Lastenheft	gewährleistet keinen Vortrieb des Fahrzeuges	gewährleistet keinen umwelt- gerechten/ funktionssicheren Betrieb

Getriebe

FF	F	FU
gewährleistet keinen Vortrieb des Fahrzeuges	gewährleistet keinen umwelt- gerechten/ funktionssicheren Betrieb	dichtet gegenüber Wellendichtring nicht funk- tionss- gerecht ab

ZB Antriebswelle

FF	F	FU
gewährleistet keinen störungsfreien/ wirtschaftlichen Betrieb gemäß Lastenheft	dichtet gegenüber Wellendichtring nicht funk- tionss- gerecht ab	gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellen- dichtring nicht

Lauffläche-Wellendichtung

FF	F	FU
dichtet gegenüber Wellendichtring nicht funk- tionss- gerecht ab	gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellen- dichtring nicht	Lauffläche verschleißt

Eigenschaften Lauffläche-Wellendichtring

FF	F	FU
gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellen- dichtring nicht	Lauffläche verschleißt	(Auslegungsdaten) Durchmesser n.i.O. Rz n.i.O. Härte nicht ausreichend (Schleifproblem)

System-FMEA
Produkt

Baugruppe

Bauteil
(Bauteil-
schnittstelle)

Konstruktions-FMEA
(System-FMEA auf
Bauteil-Ebene)

System-FMEA Prozess

			SE		Überlappingsstellen Produkt/ Prozess		
FF	F	FU			Produkt-FMEA, Ebene 1		
	FF	F	FU		Produkt-FMEA, Ebene 2		
		FF	F		FU	Produkt-FMEA, Ebene 3 (Konstruktions-FMEA)	
			FF	F	FU		Prozess-FMEA, Ebene 1
				FF	F	FU	Prozess-FMEA, Ebene 2

FF: Fehlerfolge

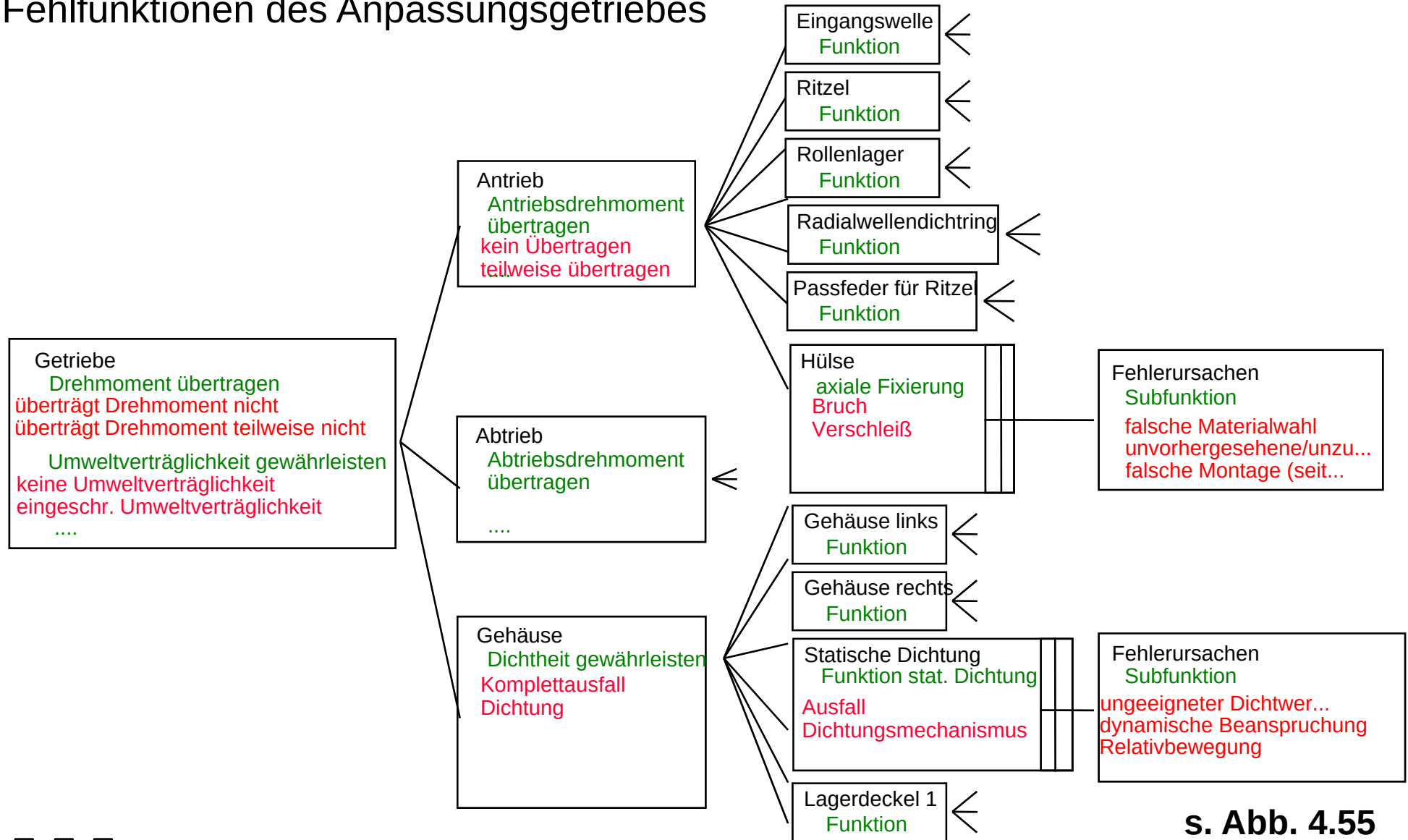
F: Fehler

FU: Fehlerursache

s. Abb. 4.41

Prof. Bertsche

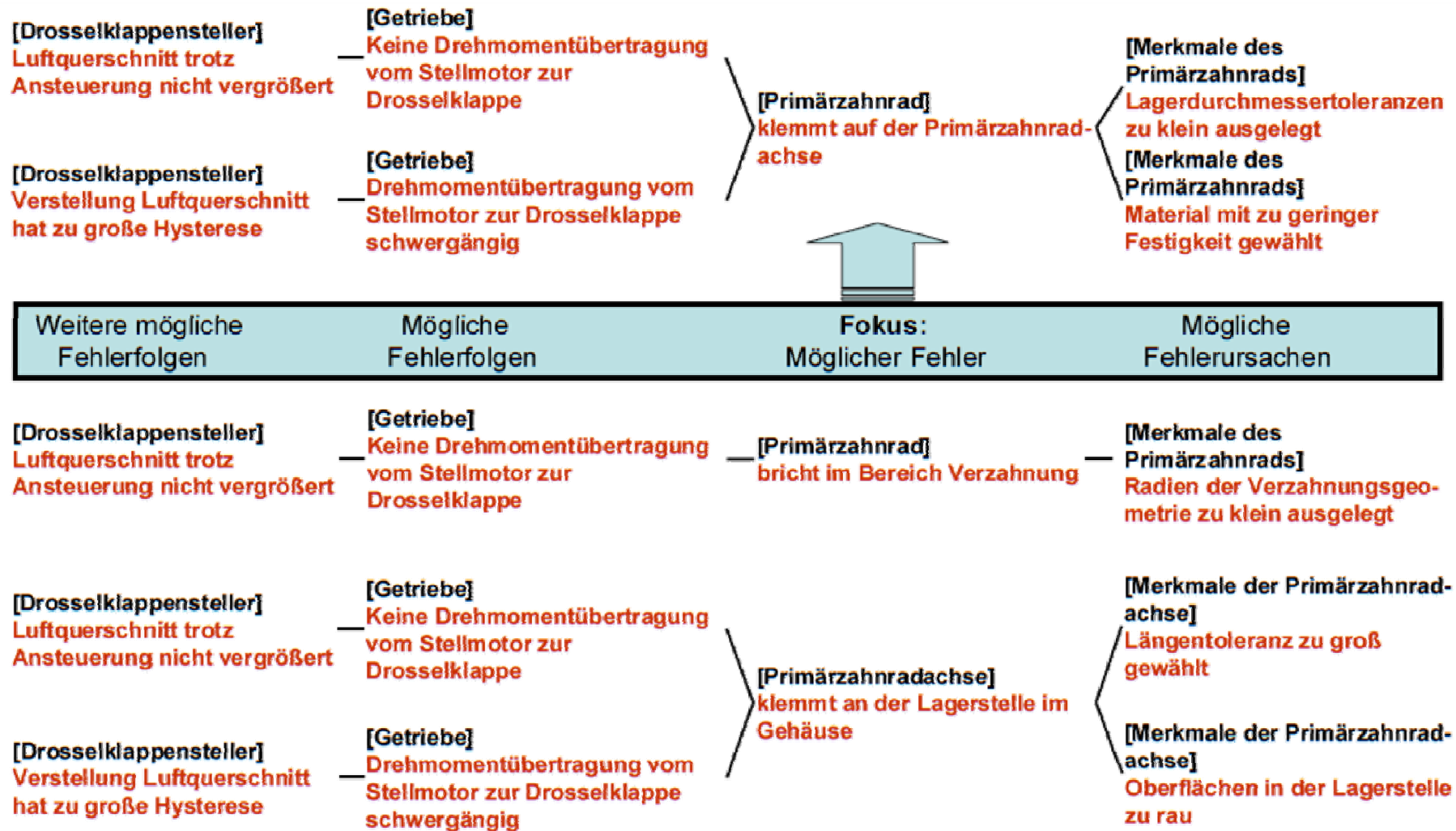
Fehlfunktionen des Anpassungsgetriebes



s. Abb. 4.55

Prof. Bertsche

Fehlfunktionsstruktur ausgehend vom Drosselklappensteller



VDA-Band 4: Produkt- und Prozess-FMEA

Prof. Bertsche

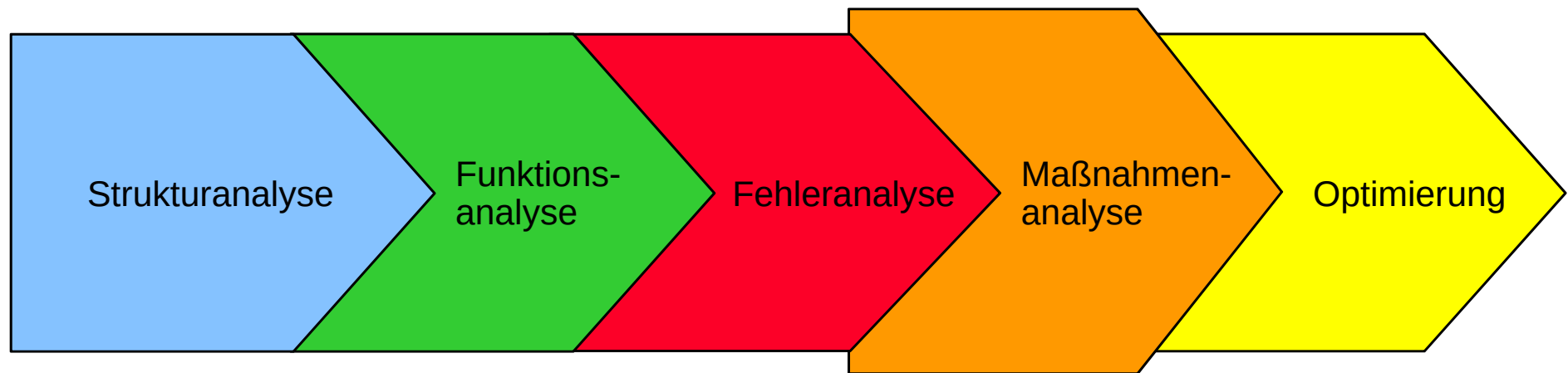
1. Schritt

2. Schritt

3. Schritt

4. Schritt

5. Schritt



Aktuelle
Vermeidungs-/
Entdeckungs-
maßnahmen
dokumentieren

Aktuellen Stand
bewerten

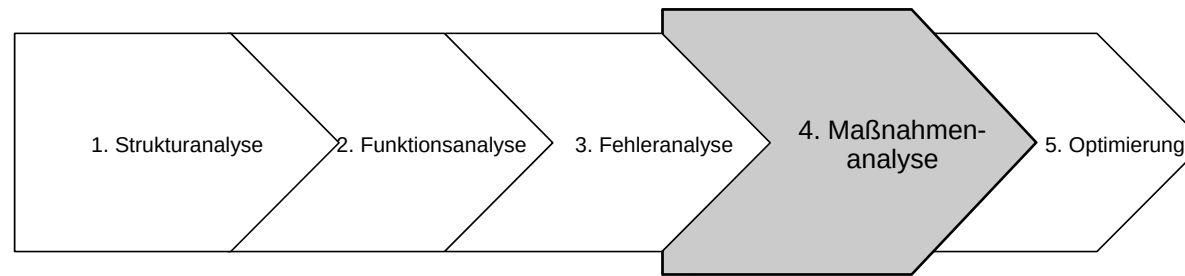
4. Maßnahmenanalyse

Die Risikobewertung der Maßnahmenanalyse erfolgt mit drei Bewertungskriterien:

- **B: Bedeutung**
 - **A: Auftretenswahrscheinlichkeit**
 - **E: Entdeckungswahrscheinlichkeit**
- der Fehlerfolge
der Fehlerursache
der Fehlerursache

Die Bewertungsskala reicht jeweils von **1 bis 10**

Als Richtlinie für die Bewertung können die Tabellen nach VDA 4 zugrundegelegt werden



Maßnahmensuche + Bewertung

Erarbeitung von Vermeidungsmaßnahmen

Erarbeitung von Entdeckungsmaßnahmen

Formblatt-Editor

Formblatt Bearbeiten Ansicht Optionen Vorlage Fenster Hilfe

Fehlerfolge Fehlerart Fehlerursache Vermeidungsmaßnahme Entdeckungsmaßnahme E RPZ V/T

FMEA

Prozessschritt: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Nummer: 1.3 Sachnummer:
 Struktur: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Team: MB_Fmea Team Erstellt: 30.04.97
 Verändert: 28.05.97

Fehlerfolge	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
Topsystem- fehler 1	System- fehler 1	Subsystemfehler 1					
		Subsystemfehler 2					
		Subsystemfunktion 1 nicht erfüllt					
		Subsystemfunktion 2 teilweise erfüllt					

unsortiert/ungefiltert Team: MB_Fmea Team Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Deutsch

Bewertung der Bedeutung B
der Fehlerfolgen

**Bewertung der Auftretens-
wahrscheinlichkeit A** der
Fehlerursachen

**Bewertung der Entdeckungs-
wahrscheinlichkeit E** der
Fehlerursachen

Ermittlung der RPZ

Tabelle 1: Kriterien für Bewertungszahlen der System-FMEA Produkt

Bewertungszahl für die Bedeutung B	Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit A	zugeordneter Fehleranteil in ppm	Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit E	Sicherheit der Prüfverfahren
Sehr hoch: 10 Sicherheitsrisiko, Nichterfüllung gesetzlicher Vorschriften, Liegenbleiber	Sehr hoch: 10 Sehr häufiges Auftreten der Fehlerursache! 9 unbrauchbares, ungeeignetes Konstruktionsprinzip	100 000 50 000	Sehr gering: 10 Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist 9 unwahrscheinlich, Zuverlässigkeit der Konstruktionauslegung wurde nicht oder kann nicht nachgewiesen werden. Nachweisverfahren sind unsicher.	90%
Hoch: 8 Funktionsfähigkeit des Fahrzeugs stark eingeschränkt, sofortiger Werkstattaufenthalt zwingend erforderlich, Funktionseinschränkung wichtiger Teilsysteme.	Hoch: 8 Fehlerursache tritt wiederholt auf, 7 problematische, unausgereifte Konstruktion	50 000 10 000	Gering: 8 Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist 7 weniger wahrscheinlich, wahrscheinlich nicht zu entdeckende Fehlerursache, unsichere Prüfungen.	98%
Mäßig: 6 Funktionsfähigkeit des Fahrzeugs eingeschränkt, sofortiger Werkstattaufenthalt 5 nicht zwingend erforderlich, Funktionseinschränkung von wichtigen Bedien- und Komfortsystemen.	Mäßig: 6 Gelegentlich auftretende Fehlerursache, 5 geeignete, im Reifegrad fortgeschrittene Konstruktion	5 000 1 000 500	Mäßig: 6 Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist 5 wahrscheinlich, Prüfungen sind relativ sicher. 4	99,7%
Gering: 3 Geringe Funktionsbeeinträchtigung des Fahrzeugs, Beseitigung beim nächsten planmäßigen Werkstattaufenthalt, Funktionseinschränkung von Bedien- und Komfortsystemen.	Gering: 3 Auftreten der Fehlerursache ist gering, 2 bewährte konstruktive Auslegung	100 50	Hoch: 3 Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist 2 sehr wahrscheinlich, Prüfungen sind sicher, z.B. mehrere voneinander unabhängige Prüfungen.	99,9%
Sehr gering: 1 Sehr geringe Funktionsbeeinträchtigung, nur vom Fachpersonal erkennbar.	Sehr gering: 1 Auftreten der Fehlerursache ist unwahrscheinlich.	1	Sehr hoch: 1 Auftgetretene Fehlerursache wird sicher entdeckt.	99,99%

Bedeutung B

Die Bewertungszahl B wertet die Bedeutung der Fehlerfolgen einer Fehlerursache für das Gesamtsystem. Die Bewertung erfolgt stets aus der Sicht des Endverbrauchers (externer Kunde). Der Wert 1 steht für eine sehr geringe Bedeutung, entsprechend steht der Wert 10 für eine sehr hohe Bedeutung.

Gleiche Fehlerfolgen müssen grundsätzlich gleich bewertet werden, Abb. 4.43.

Vermeidungsmaßnahmen und Auftretenswahrscheinlichkeit A

Die Bewertungen der Auftretenswahrscheinlichkeit (A) werden entsprechend der Wirksamkeit der Vermeidungsmaßnahmen der jeweiligen Fehlerursachen vergeben.

Je detaillierter die Fehleranalyse der System-FMEA bei den Ursachen durchgeführt wird, desto differenzierter kann die Bewertung A vorgenommen werden.

In der System-FMEA für übergeordnete Systeme wird bei der A-Bewertung von Ursachen auf Erfahrungswerte zurückgegriffen (z.B. Zuverlässigkeitsraten). Werden bekannte Teilsysteme in ein anderes System integriert, so sind aufgrund veränderter Einsatzbedingungen die Bewertungen zu überprüfen.

Die Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit einer Fehlerursache erfolgt **unter Berücksichtigung aller aufgelisteten Vermeidungsmaßnahmen**, s. Abb. 4.44. Die Zahl 10 wird vergeben, wenn es nahezu sicher ist, dass eine Fehlerursache auftritt. Die Zahl 1 wird vergeben, wenn es sehr unwahrscheinlich ist, dass eine Fehlerursache auftritt. Die A-Bewertung macht eine Aussage darüber, wie groß die fehlerbehaftete Restmenge in einem Gesamtlos eines Produktes ist.

Unter **Vermeidungsmaßnahmen** werden alle (meist präventiven) Maßnahmen verstanden, die ein Auftreten der Fehlerursache vermeiden sollen. Eine solche Maßnahme können z.B. Berechnungen während der Entwicklungsphase sein:

The screenshot shows a software window titled 'Formblatt-Editor' with a menu bar (Formblatt, Bearbeiten, Ansicht, Optionen, Vorlage, Fenster, Hilfe) and a toolbar. Below is a table with columns: Fehlerfolge, B, Fehlerart, Fehlerursache, Vermeidungsmaßnahme, A, Entdeckungsmaßnahme, E, RPZ, V/T. The table is titled 'FMEA' and contains project information: Prozessschritt: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe, Nummer: 1.3, Sachnummer: ; Struktur: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe, Team: MB_Fmea Team, Erstellt: 30.04.97, Verändert: 28.05.97. The table body has a header row with the same column names and a data row for 'Strukturelement: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Funktion: Einlegeeile in Ausgleichsgetriebe einlegen'. The data row contains: Fehlerfolge: Fressen der Räder, Liegenbleiben des Fahrzeugs [Montage Porsche Antriebsadaption]; B: ?; Fehlerart: Einlegeeile falsch eingelegt/Reibmoment ist > 10 Nm; Fehlerursache: Falsche Scheibe ausgewählt [Mensch], Falsche Scheibe eingelegt [Mensch], 2 Scheiben auf ein; Vermeidungsmaßnahme: (empty); A: (empty); Entdeckungsmaßnahme: (empty); E: (empty); RPZ: (empty); V/T: (empty). A large orange arrow points to the 'Vermeidungsmaßnahme' column.

Vermeidungsmaßnahmen

... sind Maßnahmen, die das Auftreten von Fehlerursachen einschränken bzw. vermeiden

Einige Beispiele:

systemspezifisch: Redundanzen (beeinflussen die Bedeutungsnote)

Erfahrungen mit vergleichbaren Systemen

konstruktiv: Grundlagenuntersuchungen, Simulationen, Berechnungen,

bewährte Konstruktion, qualif. Werkstoffauswahl, Anwendung auf Normen

fertigungsspezifisch: Prozessvorschriften, Prüfvorschriften, usw.

s. Abb. 4.44

Entdeckungsmaßnahmen und Entdeckungswahrscheinlichkeit E

Die Bewertungen der Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) werden entsprechend der Wirksamkeit der Entdeckungsmaßnahmen der jeweiligen Fehlerursachen vergeben.

Je detaillierter die Fehleranalyse der System-FMEA bei den Ursachen durchgeführt wird, desto differenzierter kann die Bewertung E vorgenommen werden.

In der System-FMEA für übergeordnete Systeme wird bei der E-Bewertung von Ursachen auf Erfahrungswerte zurückgegriffen (z.B. Zuverlässigkeitsraten).

Werden bekannte Teilsysteme in ein anderes System integriert, so sind aufgrund veränderter Einsatzbedingungen die Bewertungen zu überprüfen.

Die Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit erfolgt **unter Berücksichtigung aller aufgelisteten Entdeckungsmaßnahmen**. Auch Entdeckungsmaßnahmen, die zwar nicht direkt die Fehlerursachen aber die zugehörigen Fehlerfolgen erkennen, werden mit berücksichtigt, s. Abb. 4.45.

Die Bewertungszahl 10 wird vergeben, wenn keinerlei Entdeckungsmaßnahmen benannt werden. Die Zahl 1 wird vergeben, wenn ein Fehler mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit vor der Auslieferung an den Kunden gefunden wird.

Die E-Bewertung macht eine Aussage darüber, wie groß der nicht entdeckte, fehlerhafte Anteil in einem Gesamtlos eines Produktes ist.

Bei den **Entdeckungsmaßnahmen** sind zwei Fälle zu unterscheiden:

① **Entdeckungsmaßnahmen in Entwicklung / Produktion**

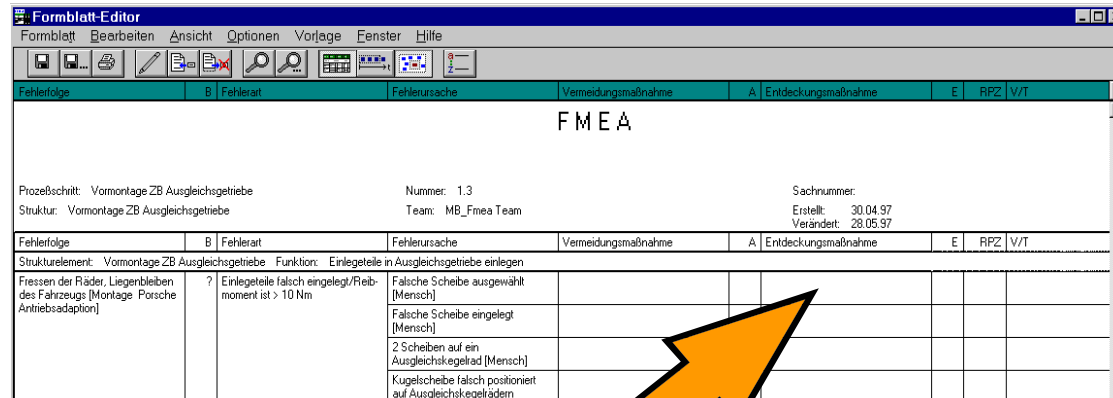
Entdeckungsmaßnahmen, die entwicklungs- bzw. produktionsbegleitend durchgeführt werden und an einem Konzept bzw. Produkt mögliche Fehlerursachen bereits während der Entwicklung bzw. Produktion aufzeigen.

② **Entdeckungsmaßnahmen in Betrieb / im Feld**

Entdeckungsmöglichkeiten, die das Produkt (System) im Betrieb aufweist oder die durch den Betreiber (Kunde) erkannt werden. Sie deuten auf die im Betrieb aufgetretenen möglichen Fehler bzw. mögliche Fehlerursachen hin, und sollen weitere mögliche Fehlerfolgen vermeiden.

Die Entdeckungsmaßnahmen werden in die gleichlautende Formblattspalte eingetragen, s. Abb. 4.45 und extra Abbildung.

FMEA-Formblatt: Entdeckungsmaßnahmen



Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
FMEA									
Prozessschritt: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe			Nummer: 1.3		Sachnummer:				
Struktur: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe			Team: MB_Fmea Team		Erstellt: 30.04.97				
					Verändert: 28.05.97				
Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
Strukturelement: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Funktion: Einlege Teile in Ausgleichsgetriebe einlegen									
Fressen der Räder, Liegenbleiben des Fahrzeugs (Montage Porsche Antriebsadaption)	?	Einlege Teile falsch eingelegt/Reibmoment ist > 10 Nm	Falsche Scheibe ausgewählt [Mensch]						
			Falsche Scheibe eingelegt [Mensch]						
			2 Scheiben auf ein Ausgleichsgetriebe [Mensch]						
			Kugelscheibe falsch positioniert auf Ausgleichsgetriebe						

Entdeckungsmaßnahmen

... sind Maßnahmen, einen Fehler zu entdecken, bevor das Teil den Kunden (Weiterverarbeiter) erreicht bzw. bevor im Betrieb eine Fehlerfolge auftritt.

Man geht davon aus, dass die Fehlerursache aufgetreten ist und listet alle Prüfmaßnahmen oder Betriebshinweise zur Entdeckung des Fehlers auf.

Einige Beispiele:

Dauerlauferprobung (Prüfstand Fahrzeug), Zeichnungsprüfung, Labor-Tests, Fahrversuche, Kupplungsschlupf, Geräusch, usw.

Risikoprioritätszahl RPZ

Die RPZ errechnet sich durch Multiplikation aus den Einzelbewertungen, s. Abb. 4.46.

Die Risikoprioritätszahl gewichtet das Gesamtrisiko für den Systemanwender und dient als ein Entscheidungskriterium zur Einleitung von Optimierungsmaßnahmen.

Grundsätzlich gilt:

- Je größer die RPZ ist, um so vorrangiger muss durch konstruktive und qualitätssichernde Maßnahmen das Risiko gesenkt werden, siehe Abb. 4.47;
- Einzelwerte von B, A und E, die über 8 liegen, sollten ebenfalls näher betrachtet werden;
- Die Aussage des Produktes $A \cdot E$ ist, dass mit dieser Restwahrscheinlichkeit fehlerhafte, nicht entdeckte Teile zum Kunden gelangen werden.

Die Risikobewertung erfolgt für die bereits umgesetzten Maßnahmen. Um das Risiko weiter zu senken sind meist zusätzliche Maßnahmen notwendig.

Aus den Bewertungskriterien errechnet sich die **Risikoprioritätszahl (RPZ)**:

Formblatt-Editor

Formblatt Bearbeiten Ansicht Optionen Vorlage Fenster Hilfe

Fehlerfolge B Fehlerart Fehlerursache Vermeidungsmaßnahme A Entdeckungsmaßnahme E RPZ V/T

FMEA

Prozessschritt: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Nummer: 1.3 Sachnummer:
 Struktur: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Team: MB_Fmea Team Erstellt: 30.04.97
 Verändert: 28.05.97

Strukturelement: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Funktion: Einlegeteile in Ausgleichsgetriebe einlegen

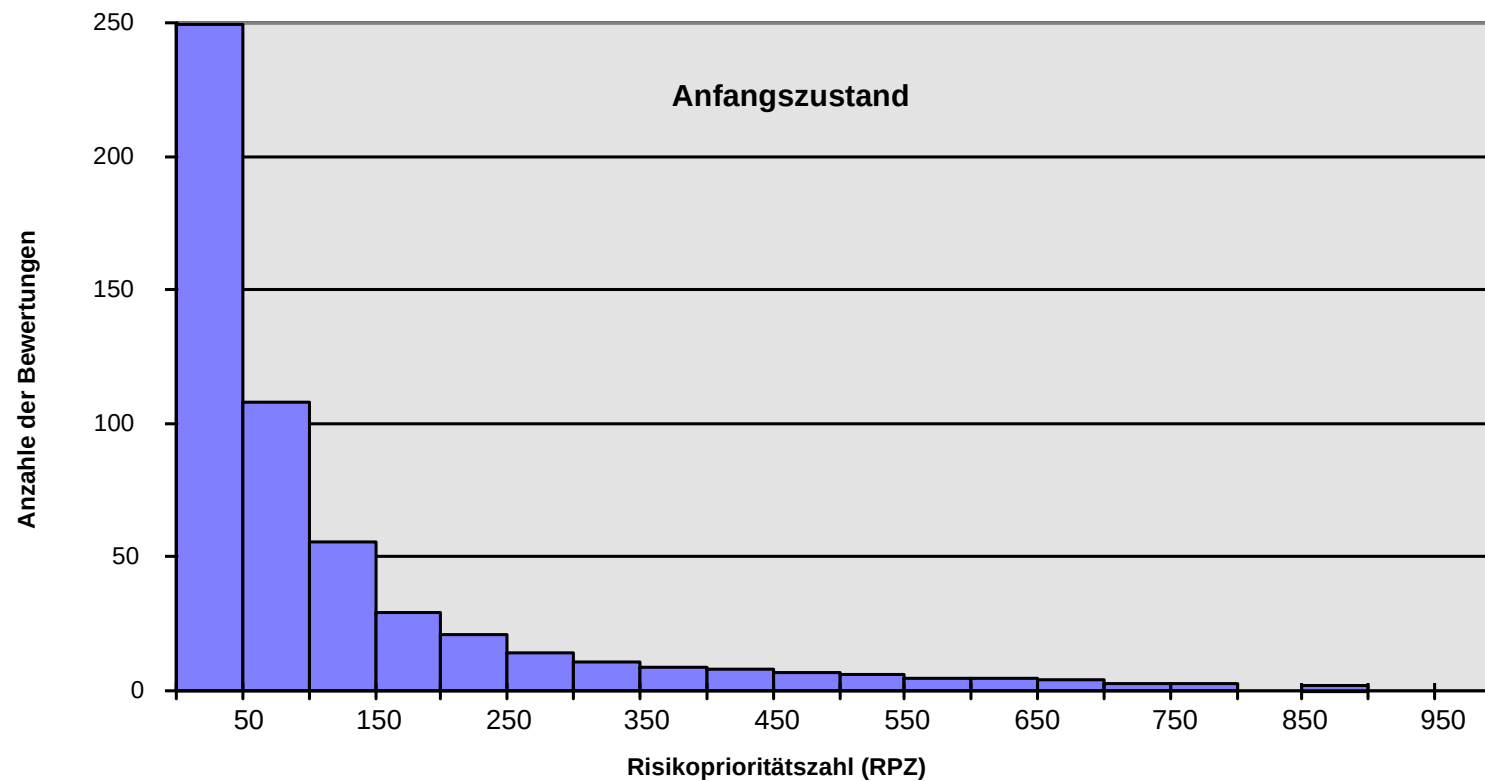
Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
Fressen der Räder, Liegenbleiben des Fahrzeugs (Montage Porsche Antriebsadaption)	?	Einlegeteile falsch eingelegt/Reibmoment ist > 10 Nm	Falsche Scheibe ausgewählt [Mensch] Falsche Scheibe eingelegt [Mensch] 2 Scheiben auf ein Ausgleichsgetriebe [Mensch] Kugelscheibe falsch positioniert auf Ausgleichsgetriebe [Mensch]						
Lauter Pfeifgeräusche (Montage Porsche Antriebsadaption)	?	Einlegeteile falsch eingelegt/Reibmoment ist < 5 Nm							
Fressen der Räder, Liegenbleiben des Fahrzeugs (Montage Porsche Antriebsadaption)	?	Ausgleichsgehäuse falsch verstiftet und verschraubt/Reibmoment ist > 10 Nm							
		Ausgleichsgehäuse falsch verstiftet und verschraubt/Reibmoment ist < 5 Nm							

unsortiert/ungefiltert Team: MB_Fmea Team Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Deutsch

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

1 ... 10 1 ... 10 1 ... 10 1 ... 1000

RPZ-Verteilung (Anfangszustand)



Analyse von Risikoprioritätszahlen

Die Betrachtung des Absolutwertes (das Produkt $B \cdot A \cdot E$) einer Risikoprioritätszahl reicht in vielen Fällen nicht aus, um Ansatzpunkte für Optimierungsmaßnahmen zu finden. Ebenso ist es nicht sinnvoll, eine "starre RPZ" (z.B. Optimierung erfolgt bei $RPZ \geq 250$) als Eingriffsgrenze unternehmensweit zu definieren, da unter Umständen die Bewertungsmaßstäbe für jede FMEA unterschiedlich sein können und die Betrachtung kleinerer Risikoprioritätszahlen unterlassen werden könnte. Die folgenden Beispiele sollen aufzeigen, dass die Betrachtung kleinerer RPZ durchaus sinnvoll sein kann.

Beispiele für $RPZ \leq 200$

Beispiel	B-Note	A-Note	E-Note	RPZ
1	10	2	10	200
2	5	10	2	100
3	3	10	5	150
4	1	1	1	1

Beispiele für $RPZ \leq 200$

Beispiel	B-Note	A-Note	E-Note	RPZ
1	10	2	10	200
2	5	10	2	100

Beispiel 1:

- FU tritt vereinzelt (selten) auf
- wird nach Auftreten nicht entdeckt
- hat äußerst schwerwiegende Fehlerfolge

→ Handlungsbedarf

Beispiel 2:

- FU tritt immer auf
- FF mit mittlerer Bedeutung
- FU wird nicht in jedem Fall entdeckt

→ Fehlervermeidungsmaßnahmen

Beispiele für $RPZ \leq 200$

Beispiel	B-Note	A-Note	E-Note	RPZ
1	10	2	10	200
2	5	10	2	100
3	3	10	5	150
4	1	1	1	1

Beispiel 3:

- FU tritt immer auf
- FF mit geringer Bedeutung
- FU wird häufig nicht entdeckt

→ Vermeidungs - + Entdeckungsmaßnahmen

Beispiel 4:

- FU höchst unwahrscheinlich
- FF unbedeutend
- FU wird sicher entdeckt

→ evtl. Entdeckungsmaßnahmen reduzieren

FMEA

Struktur: Getriebe Nummer: Sachnummer:
 Team: Fmea Team Getriebe Erstellt: 20.08.97

Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
Strukturelement: Hülse		Funktion: axiale Fixierung							
axiale Bewegung der Bauteile [Getriebe]	6	Bruch	falsche Materialwahl [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Berechnung	2	Materialprüfung	4	48	Müller
			unvorhergesehene/ unzulässige Belastung [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Berechnung	2	Funktionsprüfung	6	72	Müller
			falsche Montage (seitenverkehrt) [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Konstruktionsrichtlinien	7	Keine	10	420	Bertsche
erhöhtes axiales Spiel [Getriebe]	3	Verschleiß	falsche Materialwahl [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Materialprüfung	7	42	Maier
			unvorhergesehene/ unzulässige Belastung [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	3	Funktionsprüfung	7	63	Maier
Strukturelement: Statische		Dichtung Funktion: Abdichtung							
Leckage [Getriebe]	7	Ausfall des Dichtmechanismus	ungeeigneter Dichtwerkstoff [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	1	Materialprüfung	6	42	Maier
			Relativbewegung [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Funktionsprüfung	5	70	Maier
			dynamische Beanspruchung [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Funktionsprüfung	5	70	Maier

Risikoanalyse

Risikobewertung

s. Abb. 4.56

Prof. Bertsche

Auszug Highlights, Anpassungsgetriebe

Risikoprioritätszahl RPZ

1.4 } 2.4 }	Radialwellendichtring, keine oder falsche Förderwirkung	540
1.7 } 2.6 }	Hülse, Bruch	420
1.3 } 2.3 }	Radialwellendichtring, Verschleiß	180

Ausfallwahrscheinlichkeit A

1.4 } 2.4 }	Radialwellendichtring, keine oder falsche Förderwirkung	9
1.7	Hülse, Bruch	7

Bedeutung B

1.1 } 2.1 }	Eingangswelle / Ausgangswelle Gewaltbruch / Dauerbruch	9
----------------	---	---

Entdeckungswahrscheinlichkeit E

Auslegungsfehler	10
unvorhergesehene, unzulässige Belastung	10

s. Abb. 4.57

Prof. Bertsche

Beispiel FMEA-Formblatt zur Produkt-FMEA (Entwicklung)

Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse										FMEA-Nr.:	
☒ Produkt-FMEA ☐ Prozess-FMEA										Seite:	
Typ/Modell/Fertigung/Charge: System Struktur E-Gas				Sach-Nr.: 453234		Verantw.: XXXX		Abt.:		Datum: 01.04.2005	
				Änderungsstand: XXXXX		Firma: WWWWW				Datum: 28.11.2006	
System-Nr./Systemelement: Getriebe				Sach-Nr.: 5322345		Verantw.: YYYY		Abt.:		Datum: 28.11.2006	
				Änderungsstand: XXXX		Firma: ZZZZZ					
Mögliche Fehlerfolge	B	Mögliche Fehlerart	K	Mögliche Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T	
Systemelement: Primärzahnrad											
Funktion: Drehmoment von der Ausgangswelle auf das Sekundärzahnrad übertragen											
[Getriebe] Keine Drehmomentübertragung vom Stellmotor zur Drosselklappe	10	[Primärzahnrad] Klemmt auf der Primärzahnradachse		[Merkmale des Primärzahn-rads] Lagerdurchmessertoleranzen zu klein ausgelegt	Maßnahmenstand - Entwicklung: 13.06.2005 Auslegung nach Toleranzberechnung auf den Wert +/- 0,1 mm Müller KW 24, 2005 abgeschlossen	2	Funktionstest Musterteile Schmidt KW 25, 2005 abgeschlossen Verschleißanalyse nach Dauerlauf im Temperaturwechselbetrieb Meier KW 27, 2005 nicht umgesetzt	6 [2]	120 [40]	Meier, Müller, Schmidt KW 24, 2005 - KW 27, 2005 nicht umgesetzt	
>> [Drosselklappensteller] Luftquerschnitt trotz Ansteuerung nicht vergrößert	10										
[Getriebe] Drehmomentübertragung vom Stellmotor zur Drosselklappe schwergängig	9			[Merkmale des Primärzahn-rads] Material mit zu geringer Festigkeit gewählt	Maßnahmenstand - Entwicklung: 13.06.2005 Materialfestigkeit entsprechend Herstellerempfehlung für Belastungsfall gewählt Müller KW 24, 2005 abgeschlossen Verwendung von verstärktem PP Schmidt KW 24, 2005 abgeschlossen	3	Schadteilanalyse nach Dauerlauf mit überhöhter Belastung Schmidt KW 24, 2005 abgeschlossen	1	30	Müller, Schmidt KW 24, 2005 abgeschlossen	
>> [Drosselklappensteller] Verstellung Luftquerschnitt hat zu große Hysterese	9										

VDA-Band 4: Produkt- und Prozess-FMEA

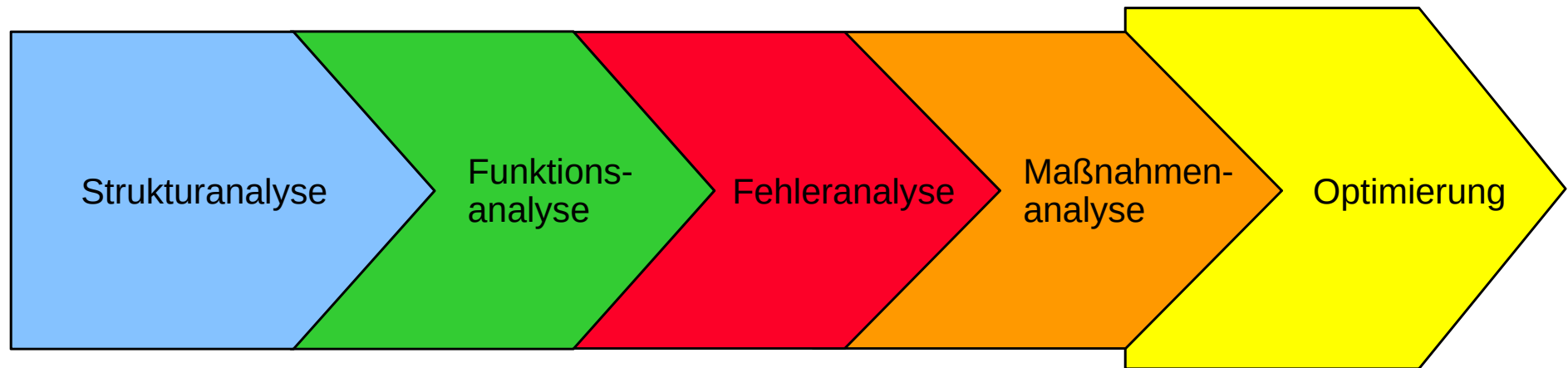
1. Schritt

2. Schritt

3. Schritt

4. Schritt

5. Schritt



Risiko mit weiteren
Maßnahmen mindern

Geänderten Stand
bewerten

5. Optimierung

Bei hohen RPZ und hohen Einzelbewertungen:

Optimierungsmaßnahmen durchführen

Dies sind Maßnahmen, die aufgrund der FMEA-Ergebnisse als zusätzliche, oder neue Vermeidungsmaßnahmen eingeführt werden.

Dies können sein:

- **Maßnahmen, die Fehlerursachen ausschalten oder das Auftreten von Fehlern reduzieren.** Dies ist nur durch Konstruktions- oder Prozessänderungen möglich.
- **Maßnahmen, die die Bedeutung eines Fehlers reduzieren.** Dies ist erreichbar durch konzeptionelle Änderungen am Produkt (z.B. Redundanz, Fehleranzeigen, usw.).
- **Maßnahmen, um die Entdeckungswahrscheinlichkeit zu erhöhen.** Dies können Änderungen der Konstruktion, des Prozesses und / oder geänderte Prüfmaßnahmen sein.

- Ausfallarten nach Größe sowie **RPZ** ordnen
- Konzeptoptimierung beginnen bei Ausfallart mit größter **RPZ**:

bis festgelegter Grenz-RPZ

z.B. 125 oder

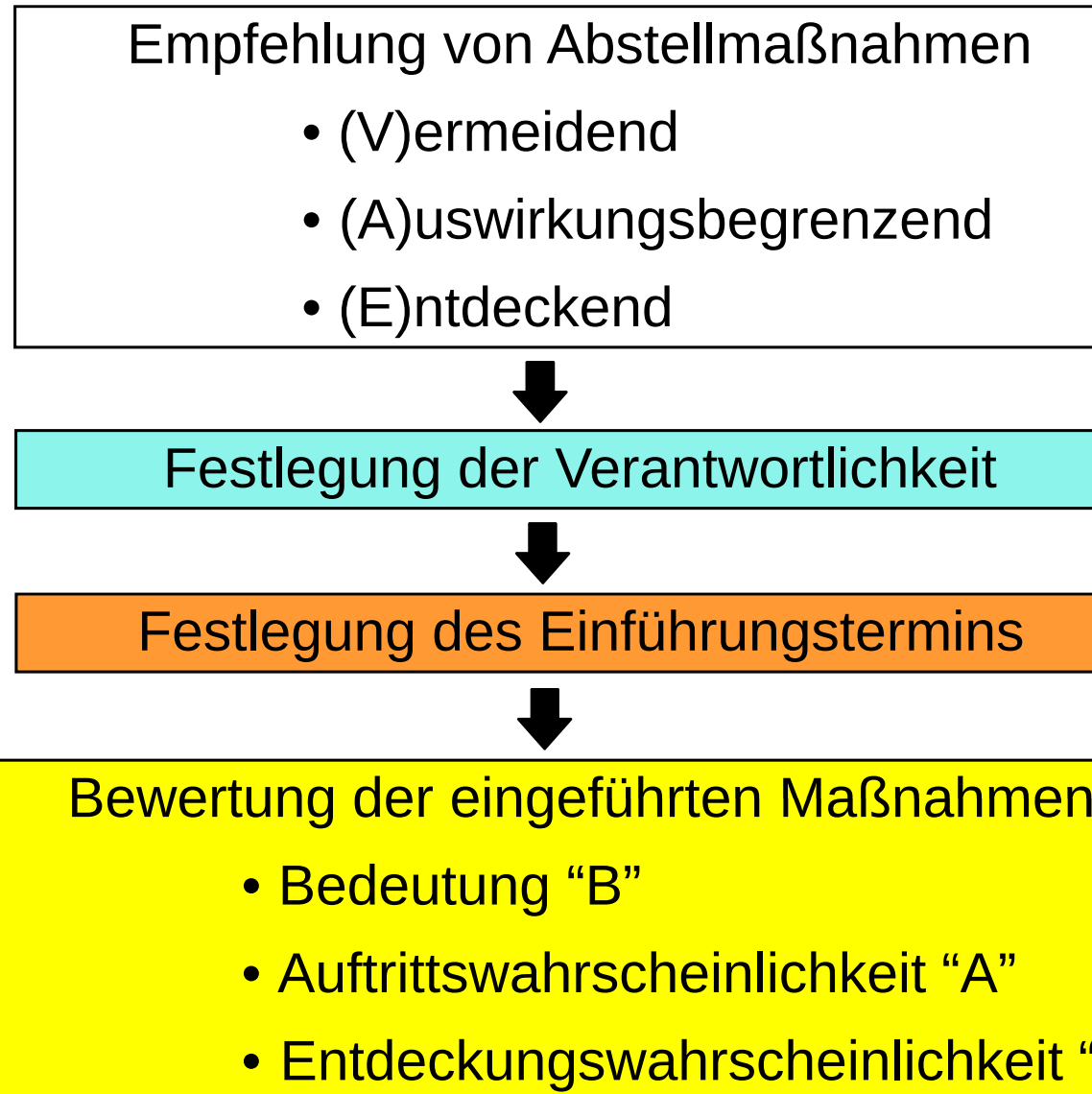
**bis festgelegte Anzahl von Ausfallarten
(Üblich: nach Pareto-Prinzip ca. 20-30%)**

- Ausfallarten mit **A > 8**
B > 8
E > 8 gesondert betrachten
- **FMEA-Ergebnis** gesondert betrachten

Prioritäten der Optimierungsmaßnahmen:

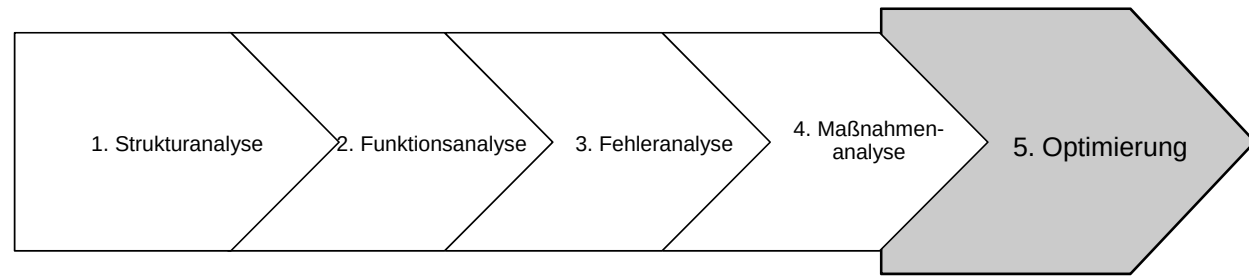
- 1) Konzeptänderungen
→ Fehlerursachen ausschließen bzw. Bedeutung reduzieren
- 2) Erhöhung Konzeptzuverlässigkeit
→ Auftreten der Fehlerursache minimieren
- 3) Wirksame Entdeckungsmaßnahmen
(kostenintensiv und keine Qualitätsverbesserung)

Die Maßnahmen werden unter einem Änderungsstand ins Formblatt eingetragen mit Verantwortlichem (V), Termin (T) und erneuter Bewertung.



s. Abb. 4.49

Prof. Bertsche



Änderungen, Verantwortung, Termin

Festlegen von verbesserten Vermeidungsmaßnahmen

Festlegen von verbesserten Entdeckungsmaßnahmen

Ermittlung verbesserte RPZ

Formblatt-Editor

Formblatt Bearbeiten Ansicht Optionen Vorlage Fenster Hilfe

FMEA

Prozessschritt: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe
Struktur: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe

Nummer: 1.3
Team: MB_Fmea Team

Sachnummer:
Erstellt: 30.04.97
Verändert: 28.05.97

Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
Strukturelement: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Funktion: Einlege Teile in Ausgleichsgetriebe einlegen									
Fressen der Räder, Liegenbleiben des Fahrzeugs [Montage Porsche Antriebsadaption]	?	Einlege Teile falsch eingelegt/Reibmoment ist > 10 Nm	Falsche Scheibe ausgewählt [Mensch] Falsche Scheibe eingelegt [Mensch] 2 Scheiben auf ein Ausgleichskegelrad [Mensch] Kugelscheibe falsch positioniert auf Ausgleichskegelradern [Mensch]						
Laute Pfeifgeräusche [Montage Porsche Antriebsadaption]	?	Einlege Teile falsch eingelegt/Reibmoment ist < 5 Nm							
Strukturelement: Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Funktion: Ausgleichsgehäuse verstiften und verschrauben									
Fressen der Räder, Liegenbleiben des Fahrzeugs [Montage Porsche Antriebsadaption]	?	Ausgleichsgehäuse falsch verstiftet und verschraubt/Reibmoment ist > 10 Nm							
		Ausgleichsgehäuse falsch verstiftet und verschraubt/Reibmoment ist < 5 Nm							

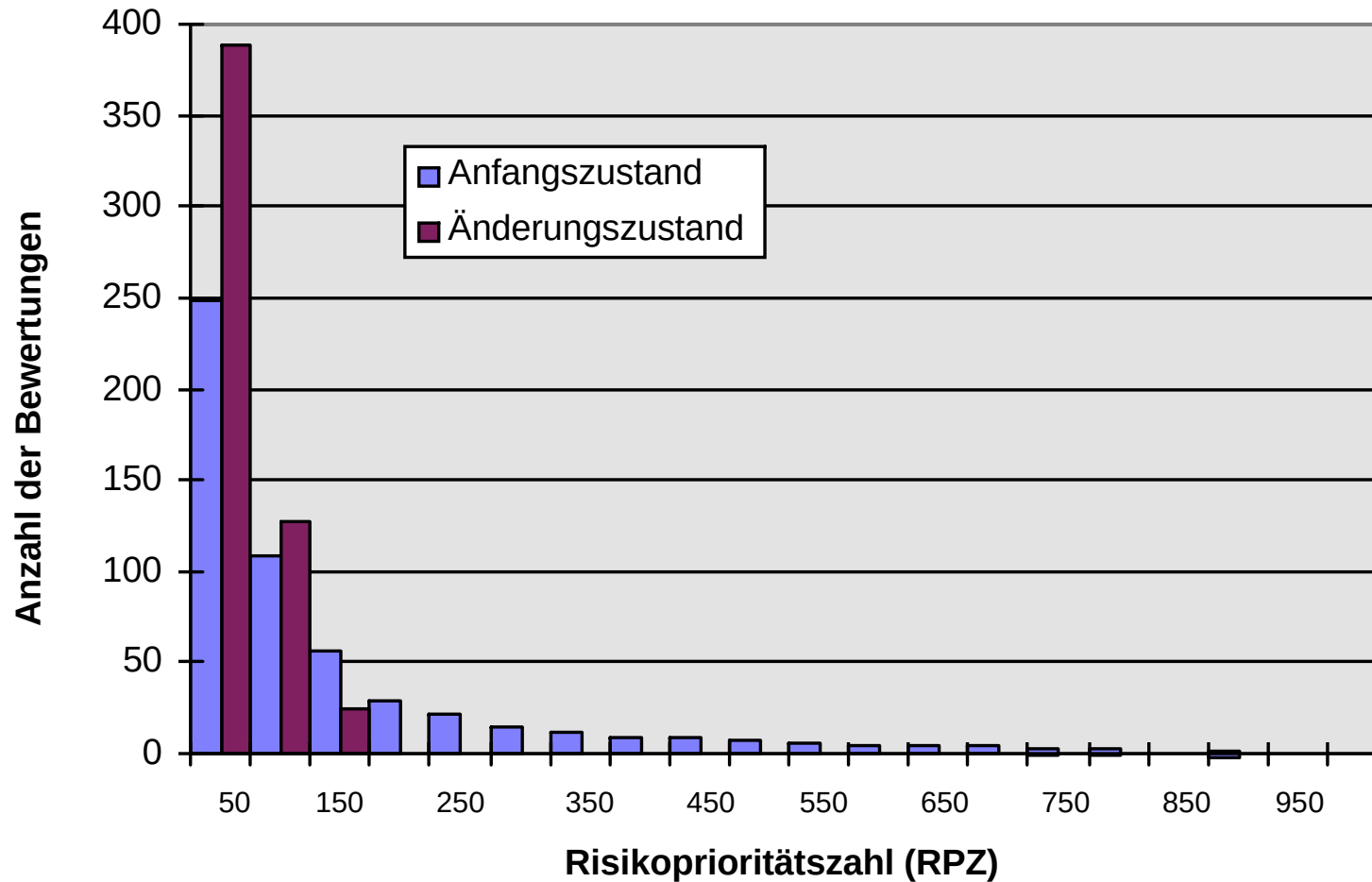
Unsortiert/ungefiltert Team: MB_Fmea Team Vormontage ZB Ausgleichsgetriebe Deutsch

Vergleich RPZ vorher - nachher

s. Abb. 4.50

Prof. Bertsche

Darstellung von Anfangs- und Änderungszustand:



s. Abb. 4.51

Prof. Bertsche

Optimierung des Anpassungsgetriebe

Optimierung

Struktur:Getriebe				Nummer:		Sachnummer:			
				Team: Fmea Team Getriebe		Erstellt: 20.08.97			
						Verändert:23.08.97			
Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
Strukturelement: Hülse Funktion:axiale Fixierung									
axiale Bewegung der Bauteile [Getriebe]	6	Bruch	falsche Materialwahl [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Berechnung	2	Materialprüfung	4	48	Müller
			unvorhergesehene unzulässige Belastung [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Berechnung	2	Funktionsprüfung	6	72	Müller
			falsche Montage (seitenverkehrt) [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Konstruktionsrichtlinien	7	Keine	10	420	Bertsche
				Änderungsstand: 28.08.97					
				Hülse mit beidseitiger Fase innen	2	Sichtprüfung	6	72	Bertsche
				23.08.97 unbearbeitet					
erhöhtes axiales Spiel [Getriebe]	3	Verschleiß	falsche Materialwahl [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Materialprüfung	7	42	Maier
			unvorhergesehene unzulässige Belastung [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	3	Funktionsprüfung	7	63	Maier
Strukturelement:Statische DichtungFunktion:Abdichtung									
Leckage [Getriebe]	7	Ausfall des Dichtmechanismus	ungeeigneter Dichtwerkstoff [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	1	Materialprüfung	6	42	Maier
			Relativbewegung [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Funktionsprüfung	5	70	Maier
			dynamische Beanspruchung [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
				Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Funktionsprüfung	5	70	Maier

erneute Risikobewertung

FMEA

Optimierung

Struktur: Getriebe		Nummer:		Sachnummer:					
		Team: Fmea Team Getriebe		Erstellt: 20.08.97					
				Verändert:23.08.97					
Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
Strukturelement: Hülse	Funktion: axiale Fixierung								
axiale Bewegung der Bauteile [Getriebe]	6	Bruch	falsche Materialwahl [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
			Berechung	2	Materialprüfung	4	48	Müller	
			unvorhergesehene unzulässige Belastung [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
			Berechung	2	Funktionsprüfung	6	72	Müller	
			falsche Montage (seitenverkehrt) [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
			Konstruktionsrichtlinien	7	Keine	10	420	Bertsche	
			Änderungsstand: 28.08.97						
			Hülse mit beidseitiger Fase innen	2	Sichtprüfung	6	72	Bertsche	
			23.08.97 unbearbeitet						
erhöhtes axiales Spiel [Getriebe]	3	Verschleiß	falsche Materialwahl [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
			Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Materialprüfung	7	42	Maier	
			unvorhergesehene unzulässige Belastung [Hülse]	Anfangsstand: 20.08.97					
			Erfahrung Prüfstandsversuch	3	Funktionsprüfung	7	63	Maier	
Strukturelement: Statische Dichtung			Funktion: Abdichtung						
Leckage [Getriebe]	7	Ausfall des Dichtmechanismus	ungeeigneter Dichtwerkstoff [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
			Erfahrung Prüfstandsversuch	1	Materialprüfung	6	42	Maier	
			Relativbewegung [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
			Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Funktionsprüfung	5	70	Maier	
			dynamische Beanspruchung [Gehäuse]	Anfangsstand: 20.08.97					
			Erfahrung Prüfstandsversuch	2	Funktionsprüfung	5	70	Maier	

erneute Risikobewertung

s. Abb. 4.58

Prof. Bertsche

Schritt 5 – Optimierung

Beispiel FMEA-Formblatt zur Produkt-FMEA (Entwicklung)

Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse										FMEA-Nr.:	
☒ Produkt-FMEA ☐ Prozess-FMEA										Seite:	
Typ/Modell/Fertigung/Charge: System Struktur E-Gas			Sach-Nr.: 453234		Verantw.: XXXX		Abt.:			Datum: 01.04.2005	
			Änderungsstand: XXXXX		Firma: WWWWW					Datum: 28.11.2006	
System-Nr./Systemelement: Getriebe			Sach-Nr.: 5322345		Verantw.: YYYYY		Abt.:			Datum: 28.11.2006	
			Änderungsstand: XXXX		Firma: ZZZZZ					Datum: 28.11.2006	
Mögliche Fehlerfolge	B	Mögliche Fehlerart	K	Mögliche Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T	
Systemelement: Primärzahnrad											
Funktion: Drehmoment von der Ausgangswelle auf das Sekundärzahnrad übertragen											
[Getriebe] Keine Drehmomentübertragung vom Stellmotor zur Drosselklappe	10	[Primärzahnrad] Klemmt auf der Primärzahnradachse		[Merkmale des Primärzahn-rads] Lagerdurchmessertoleranzen zu klein ausgelegt	Maßnahmenstand - Entwicklung: 13.06.2005 Auslegung nach Toleranzberechnung auf den Wert +/- 0,1 mm Müller KW 24, 2005 abgeschlossen	2	Funktionstest Musterteile Schmidt KW 25, 2005 abgeschlossen	6	120	Meier, Müller, Schmidt KW 24, 2005 - KW 27, 2005 nicht umgesetzt	
>> [Drosselklappensteller] Luftquerschnitt trotz Ansteuerung nicht vergrößert	10						Verschleißanalyse nach Dauerlauf im Temperaturwechselbetrieb Meier KW 27, 2005 nicht umgesetzt				
[Getriebe] Drehmomentübertragung vom Stellmotor zur Drosselklappe schwergängig	9			[Merkmale des Primärzahn-rads] Material mit zu geringer Festigkeit gewählt	Maßnahmenstand - Entwicklung: 13.06.2005 Materialfestigkeit entsprechend Herstellerempfehlung für Belastungsfall gewählt Müller KW 24, 2005 abgeschlossen	3	Schadteilanalyse nach Dauerlauf mit überhöhter Belastung Schmidt KW 24, 2005 abgeschlossen	1	30	Müller, Schmidt KW 24, 2005 abgeschlossen	
>> [Drosselklappensteller] Verstellung Luftquerschnitt hat zu große Hysterese	9				Verwendung von verstärktem PP Schmidt KW 24, 2005 abgeschlossen						

Optimierungsmaßnahme

VDA-Band 4: Produkt- und Prozess-FMEA

- 
- 4.1 Grundlagen und Allgemeines zur FMEA Methodik
 - 4.2 FMEA nach VDA 86 (Formblatt FMEA)
 - 4.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86
 - 4.4 FMEA nach VDA 4 (2006)
 - 4.5 Beispiel einer Prozess-FMEA nach VDA 4**
 - 4.6 DAMUK-Methode
 - 4.7 Softwareunterstützung
 - 4.8 Übungsbeispiel
- 

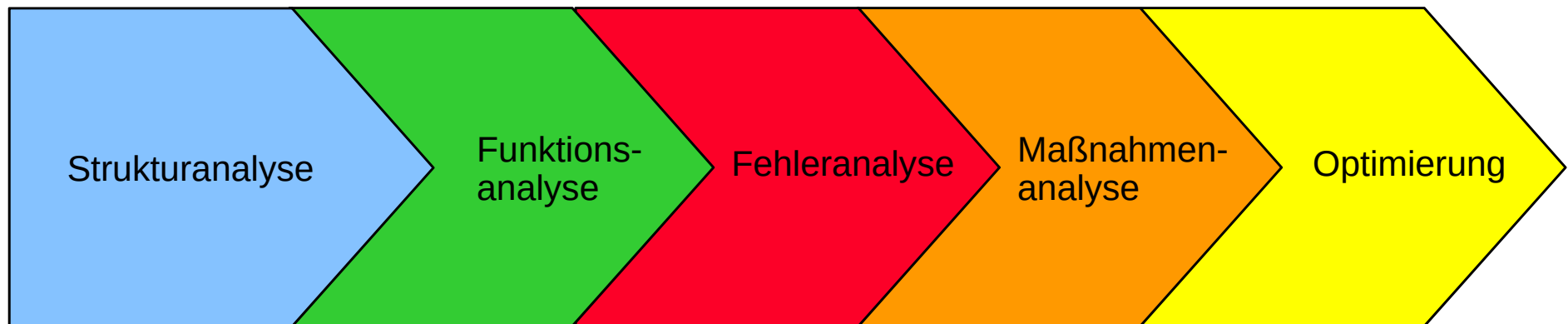
1. Schritt

2. Schritt

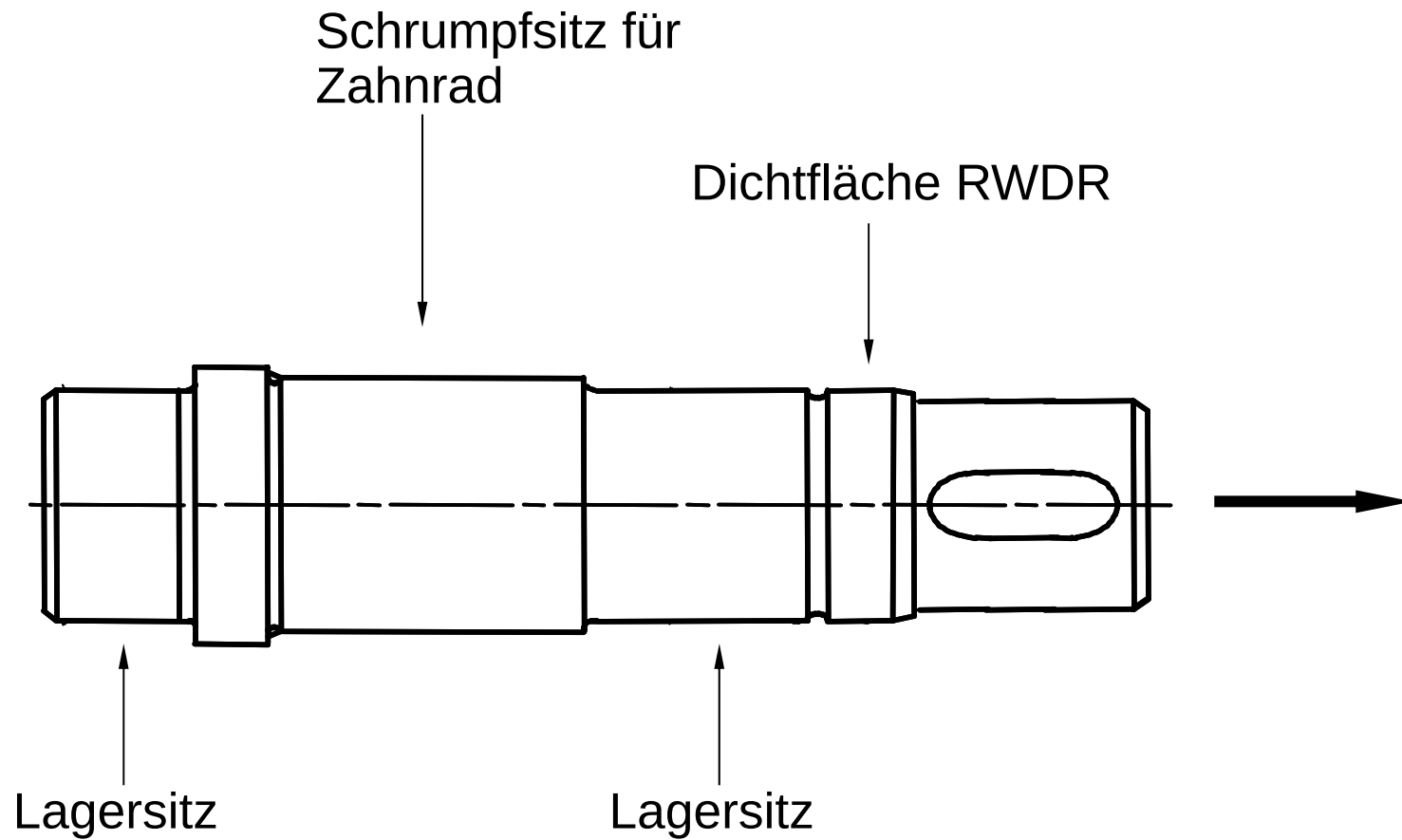
3. Schritt

4. Schritt

5. Schritt



Bauteilzeichnung der Abtriebswelle

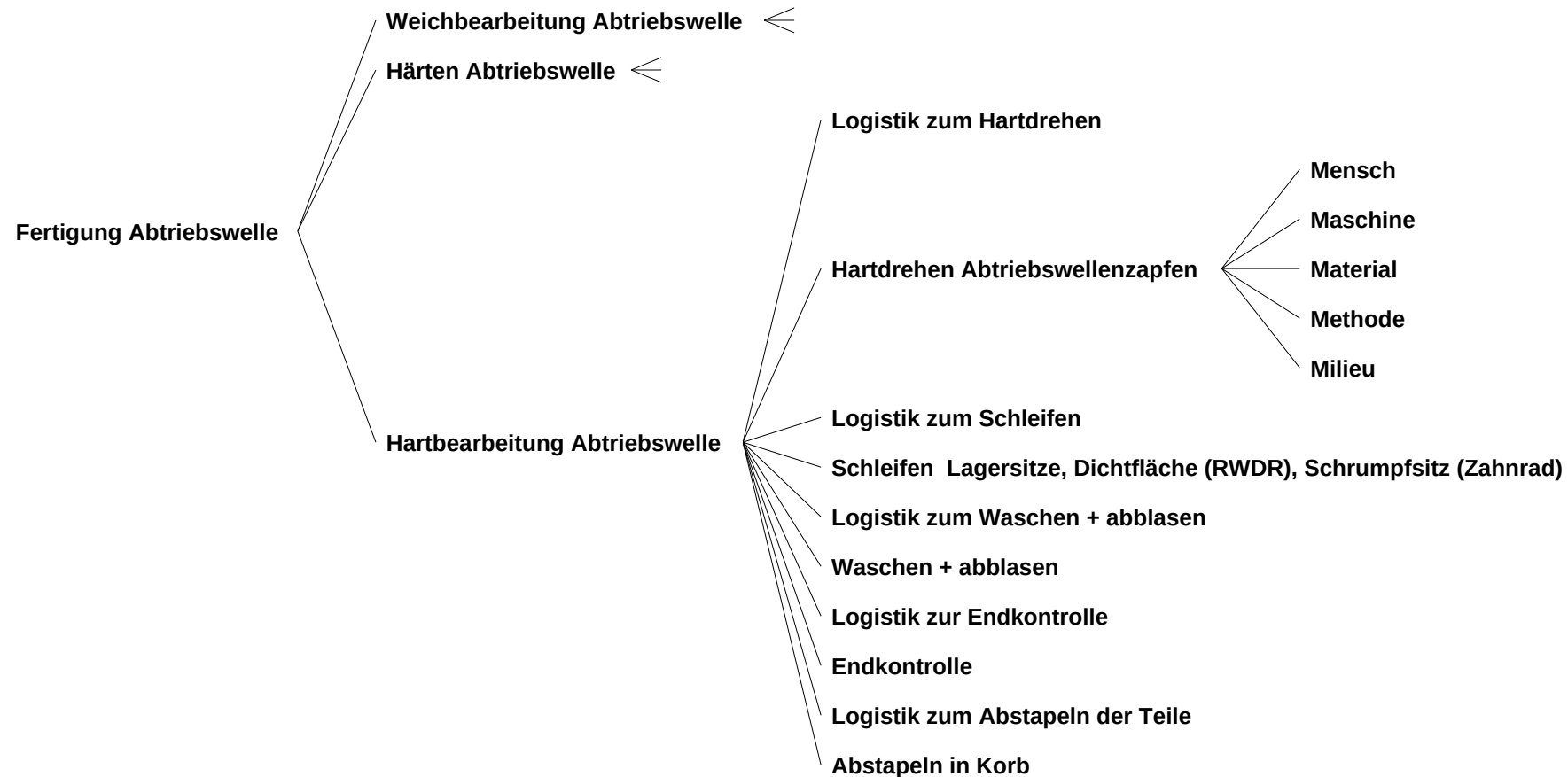


Bauteilzeichnung der Abtriebswelle

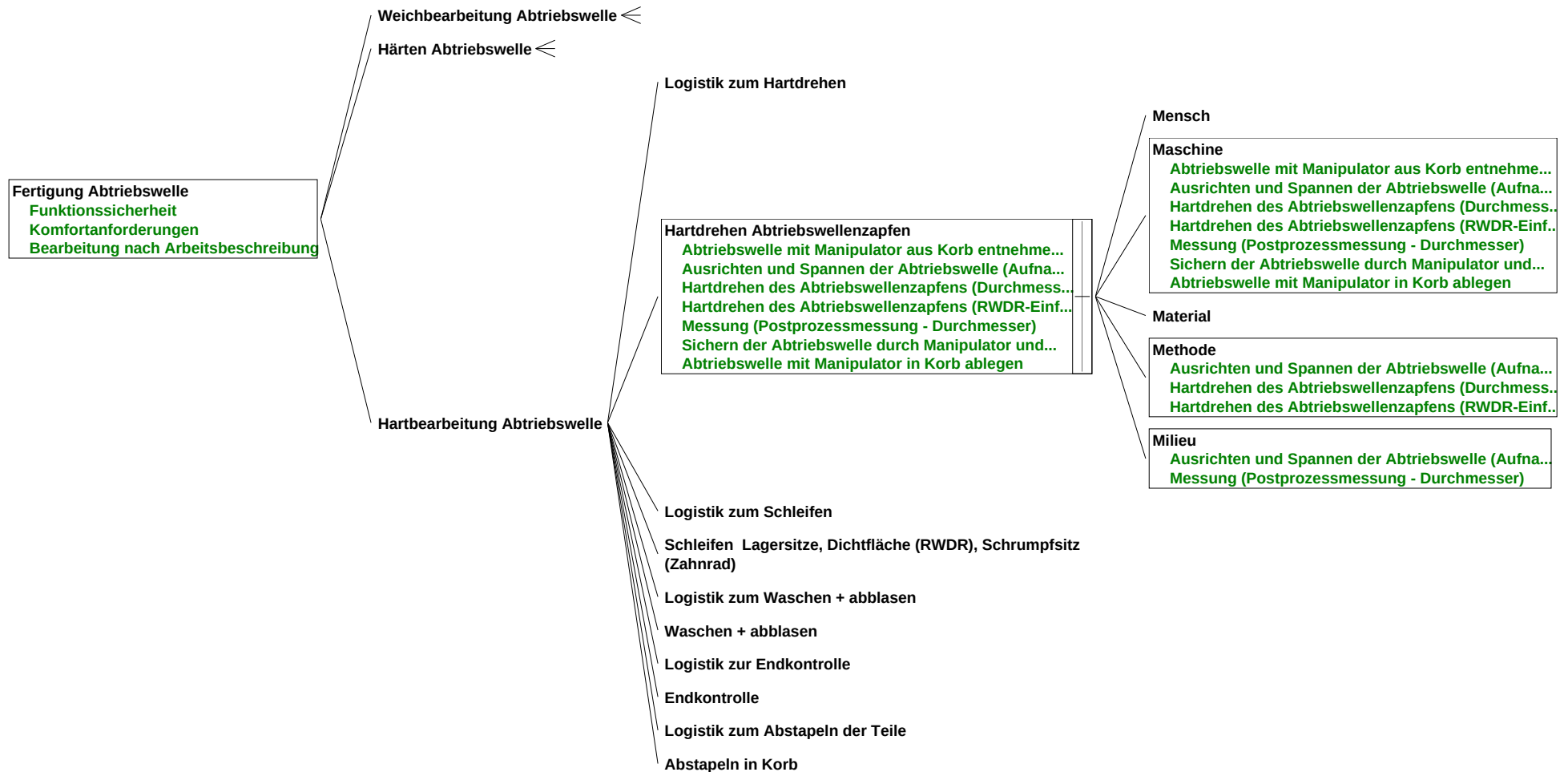
Fertigungsablaufplan für die Fertigung der Abtriebswelle

Anpassungsgetriebe				
Benennung: Abtriebswelle Anpassungsgetriebe			Teilenummer: A 130.246.1	
AVO	KST	Arbeitsvorgang	Produktionsmittel	Bemerkung
Weichbearbeitung				
10	XXX	Ablängen und Zentrieren	Abläng- und Zentriermaschine	
20	XXX	Drehen komplett und Fräsen Passfedernut	Drehmaschine	Außenkontur und Freistiche, Fräsen über separaten angetr. Werkzeughalter
30	XXX	Waschen + abblasen	Durchlaufwaschmaschine	
40	XXX	Abstapeln in Korb	Korbstapeleinheit	
Härten				
50	XXX	Einsatzhärten	Durchstoßofen	
60	XXX	Richten	Richtmaschine	
70	XXX	Entspannen	Anlassofen	
80	XXX	Waschen + abblasen	Durchlaufwaschmaschine	
90	XXX	Abstapeln in Korb	Korbstapeleinheit	
Hartbearbeitung				
90	XXX	Hartdrehen Abtriebswellenzapfen	Vertikaldrehmaschine einspindlig	unterbrochener Schnitt, Aufnahme zwischen Spitzen und Mitnehmer
100	XXX	Schleifen Lagersitze, Dichtfläche (RWDR), Schrumpfsitz (Zahnrad)	Außenschleifmaschine	Aufnahme zwischen Spitzen und Mitnehmer am Abtriebswellenzapfen
110	XXX	Waschen + abblasen	Durchlaufwaschmaschine	
120	XXX	Endkontrolle	Kontrollarbeitsplatz	Messen der Funktionsmaße (Stichprobenmessung)
130	XXX	Abstapeln in Korb	Korbstapeleinheit	

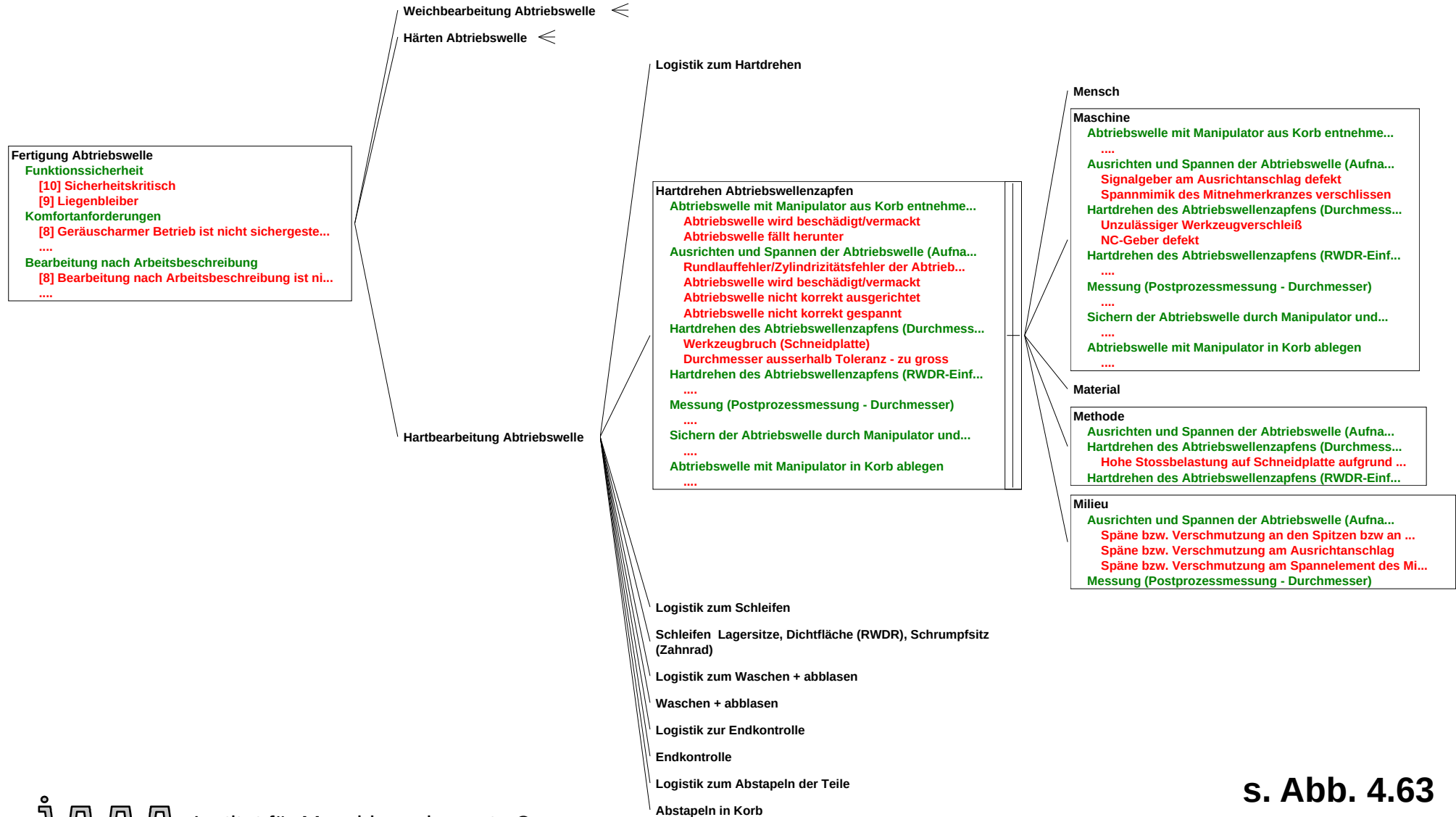
Systemstruktur der Fertigung der Abtriebswelle



Funktionsstruktur des Fertigungsprozesses (Auszug)



Fehlfunktionen des Fertigungsprozesses (Auszug)



Maßnahmenanalyse: Entdeckungsmaßnahmen vor Auslieferung und im Betrieb

Formblattauszug zum SE "Antriebswelle"									
Mögliche Fehlerfolgen	B	Mögliche Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	V/T
gewährleistet keinen umweltgerechten funktions-sicheren Betrieb	8	dichtet gegenüber Wellendichtring nicht funktionsgerecht ab	gewährleistet Ölfilm-aufbau für Wellendichtring nicht	Rauhtiefe nach DIN Hinweis: System-FMEA Prozeß "Schleifen"	4	RZ-Messung	3	96	Meier
						-----	---	---	Abt. AB/D
						Dauerlauf			
						-----	---	---	---
						Kupplungs-schlupf,...	2	64	

Maßnahmenanalyse und Optimierung (Auszug des Prozessbeispiels)

Mögliche Fehlerfolgen	B	Mögliche Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	VT
[Fertigung Abtriebswelle] [8] Bearbeitung nach Arbeitsbeschreibung ist nicht sichergestellt	8	Abtriebswelle nicht korrekt gespannt	[Milieu] Späne bzw. Verschmutzung am Spannelement des Mitnehmerkranzes	Maßnahmenstand - Anfang: 21.03.2001 Spülen des Mitnehmerkranzes vor erneutem Spannen	2	Werkerselbstkontrolle Sichtkontrolle	6	96	Schneider
Folgefehler: Werkzeugbruch möglich			[Maschine] Spannmimik des Mitnehmerkranzes verschlissen	Maßnahmenstand - Anfang: 21.03.2001 Abstimmung mit dem Lieferanten Verschleißreduzierte gekapselte Mimik	3	Stichprobenkontrolle (1/Schicht)	4	96	Schneider
Funktion: Hartdrehen des Abtriebswellenzapfens (Durchmesser, Fase)									
[Fertigung Abtriebswelle] [8] Bearbeitung nach Arbeitsbeschreibung ist nicht sichergestellt	8	Werkzeugbruch (Schneidplatte)	[Methode] Hohe Stossbelastung auf Schneidplatte aufgrund unterbrochenem Schnitt bei gehärtetem Material	Maßnahmenstand - Anfang: 21.03.2001 Ermittlung optimaler Prozessparameter Verwendung spezieller Schneidplatten und Schneidplattenhalter	6	Prinzipversuche Schneidkraftermittlung	4	192	Schulze
Taktzeitproblem, Ersatzhalter bzw. Werkzeughalter wechseln				Maßnahmenstand: 16.04.2003 Schleifprozess anstatt Hartdrehprozess	2	Prinzipversuche Schneidkraftermittlung	4	64	Maier 15.08.2001 abgeschlossen
[Fertigung Abtriebswelle] [8] Bearbeitung nach Arbeitsbeschreibung ist nicht sichergestellt	8	Durchmesser ausserhalb Toleranz - zu gross	[Maschine] Unzulässiger Werkzeugverschleiß	Maßnahmenstand - Anfang: 21.03.2001 Ermittlung optimaler Prozessparameter (Prinzipversuche, Standzeit,)	3	Postprozessmessung	2	48	Schulze
Nacharbeit, Werkstück muss erneut in Linienfertigung eingespeist werden			[Maschine] NC-Geber defekt	Maßnahmenstand - Anfang: 21.03.2001 Gekapselte spritzwassergeschützte Einheit Verkabelung geschützt Erschütterungsresistent vergossen	2	Prinzipversuche Fehlermeldung Anlage steht	2	32	Schulze

- 
- 4.1 Grundlagen und Allgemeines zur FMEA Methodik
 - 4.2 FMEA nach VDA 86 (Formblatt FMEA)
 - 4.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86
 - 4.4 FMEA nach VDA 4 (2006)
 - 4.5 Beispiel einer **Prozess-FMEA** nach **VDA 4**
 - 4.6 DAMUK-Methode**
 - 4.7 Softwareunterstützung
 - 4.8 Übungsbeispiel
- 

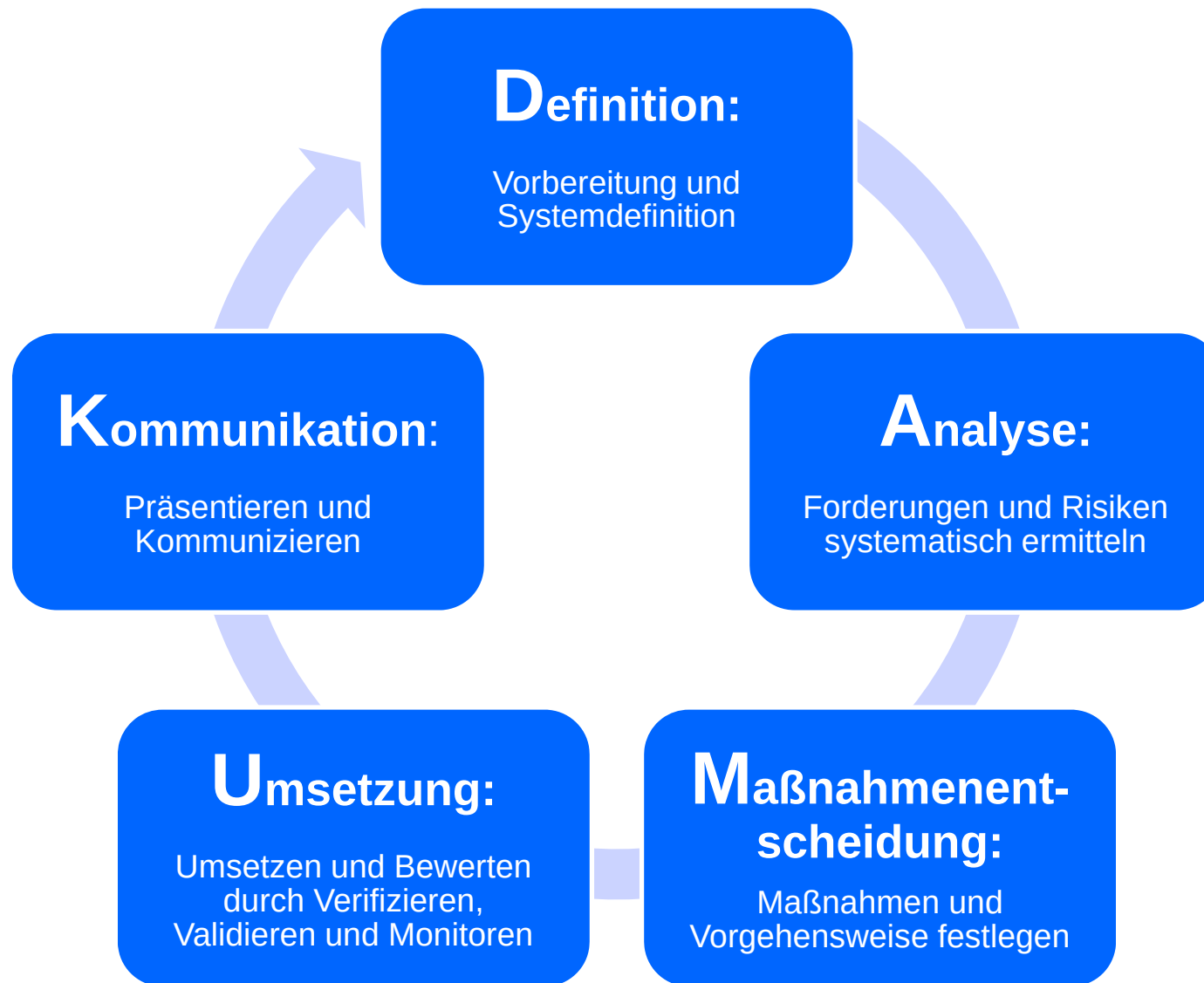
VDA Band 4: Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie, Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz

→ Stellt das DAMUK Prozessmodell vor

Motivation und Ziele sind hierbei:

- Leitfaden zur Bearbeitung von FMEA-Projekten
- Priorisierung der zu behandelnden FMEA-Themen
- Effiziente Bearbeitung der FMEA
- Stärkere Bindung an Projekt-, Prozesspläne und Abläufe
- Reproduzierbare FMEA Projektabläufe

Das Prozessmodell verfolgt den prozessorientierten Ansatz nach DIN EN ISO 9000 ff und ISO/TS 16949



Die 5 DAMUK Prozessschritte werden **jeweils** nach folgenden Anforderungen strukturiert:

1. **Ziel:**

Das Ziel jeder Phase ist festzulegen

2. **Zeitraahmen:**

Der Start und Zeitbedarf jeder Phase ist mit dem Projektplan abzustimmen

3. **Eingabe:**

Vereinbarungen und erforderliche Arbeitsunterlagen zum Start des Prozesses und im weiteren Verlauf die Ergebnisse aus der vorhergehenden Phase.

4. **Arbeitsumfang:**

Aufgaben und Tätigkeiten der in den einzelnen Phasen benannten Verantwortlichen und Mitwirkenden.

5. **Arbeitsmittel:**

Die je nach Phase einsetzbaren Werkzeuge.

6. **Methoden:**

Unterstützende Methoden und Verfahren, welche die effiziente Durchführung der FMEA in der jeweiligen Phase unterstützen.

7. **Messgrößen:**

Indikatoren und Kennzahlen, die sich auf eine Basis beziehen, die eine Bewertung der Phase bzgl. der Effektivität, d.h. die Wirksamkeit für den Kunden inkl. Kundenzufriedenheit, und der Effizienz, d.h. die Leistung der Phase, erlauben.

8. **Teilschritte:**

Die Unterteilung der Phase in einzelne Teilschritte.

9. **Ergebnis:**

Die Umwandlung der Eingaben durch die Teilschritte der einzelnen Phasen in Ergebnisse.

10. Risiken:

Aufzeigen der Risiken, die sich bei der Durchführung und Umsetzung in den Phasen bei Anwendung des prozessorientierten Ansatzes ergeben können.

11. Kommunikation:

Die Ergebnisse der einzelnen Phasen mit den Zuständigen kommunizieren und für eine weitere Verwendung aufbereiten und dokumentieren.

Strukturierung gewährleistet gleichbleibende Qualität bei Bearbeitung der 5 DAMUK-Phasen durch wiederkehrende Stell- und Messgrößen.

→ Siehe VDA Band 4 bzgl. Detaillierung der jeweiligen Schritte und Phasen

- 
- 4.1 Grundlagen und Allgemeines zur FMEA Methodik
 - 4.2 FMEA nach VDA 86 (Formblatt FMEA)
 - 4.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86
 - 4.4 FMEA nach VDA 4 (2006)
 - 4.5 Beispiel einer **Prozess-FMEA** nach **VDA 4**
 - 4.6 DAMUK-Methode
 - 4.7 Softwareunterstützung**
 - 4.8 Übungsbeispiel
- 

FMEA - Software

- **Allgemeines**
- **Vorteile**
- **Einteilung, Klassierung**
- **Systeme am Markt**
- **Hauptvertreter, Features, etc.**
- **Vorstellung der Hauptvertreter**

Vorteile der EDV-Unterstützung der FMEA

PC mit FMEA Software:

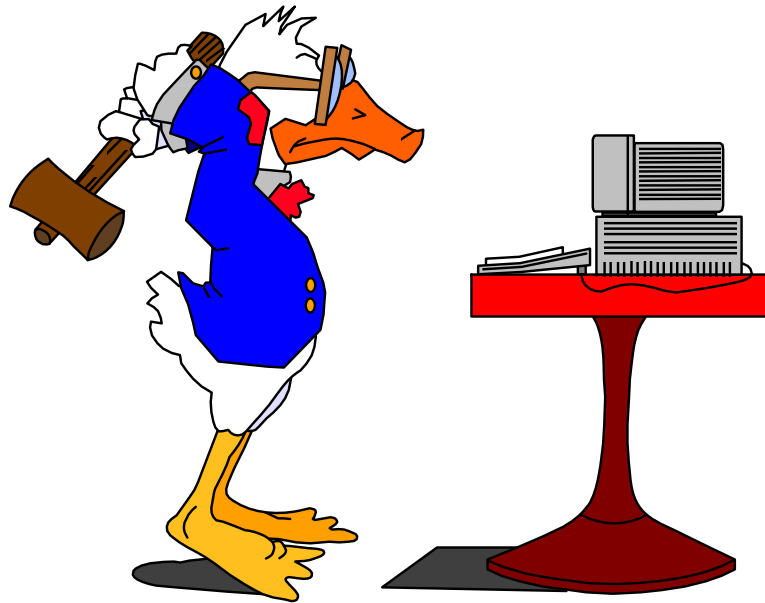
- Einfache Erstellung und Pflege von FMEAs
- Gute Unterstützung des Moderators
- Einfache Überwachung der Termine und der Verantwortlichen

Zusätzlich mit Beamer:

- Visualisierung der FMEA (Strukturbaum und Formblatt)
für alle Teilnehmer
- Möglichkeit zum Umschalten zwischen FMEA und Methodiken

Einführung von EDV-Unterstützung

Damit nicht ...



Schrittweises Vorgehen

1. Erlernen und Beherrschen der Methodik
2. Auswahl und Einführung von für das Unternehmen geeigneter Software

Einteilung von FMEA-Software

FMEA-Textsysteme

FMEA-Erstellung

- Eingabe von Einträgen
- Ändern von Einträgen
- Kopieren von Einträgen
- Löschen von Einträgen

FMEA-Ausdruck

- Textfile

FMEA-Systeme

FMEA-Erstellung

- Unterstützung durch unstrukturiertes Wissen (Kataloge zu Fehlern, Folgen, Ursachen und Maßnahmen)
- (FMEA-logische) Kopierfunktionen (Zweig, Block)
- Unterstützung durch Bewertungstabellen
- RPZ-Berechnung
- Bemerkungen zu Einträgen

FMEA-Auswertung

- Paretoanalyse
- Wirksamkeit

FMEA-Überwachung

- Termine, Maßnahmen

FMEA-Verwaltung

- Status

FMEA-Speicherung

- Datenbank

CAQ-Integration

- Kataloge (Fehler, Folgen, Ursachen und Maßnahmen)

CAD-Integration

- Darstellung von Zeichnungen

FMEA-Expertensysteme

FMEA-Erstellung

- Unterstützung durch strukturiertes Wissen (Vorschläge zu Fehlern, Folgen, Ursachen und Maßnahmen)
- RPZ-Auswertung (Vorschläge)

CAQ-Integration

- Reklamationsbearbeitung
- Fertigung (SPC)
- Wareneingang, Warenausgang



Übersicht der wichtigsten FMEA-Systeme

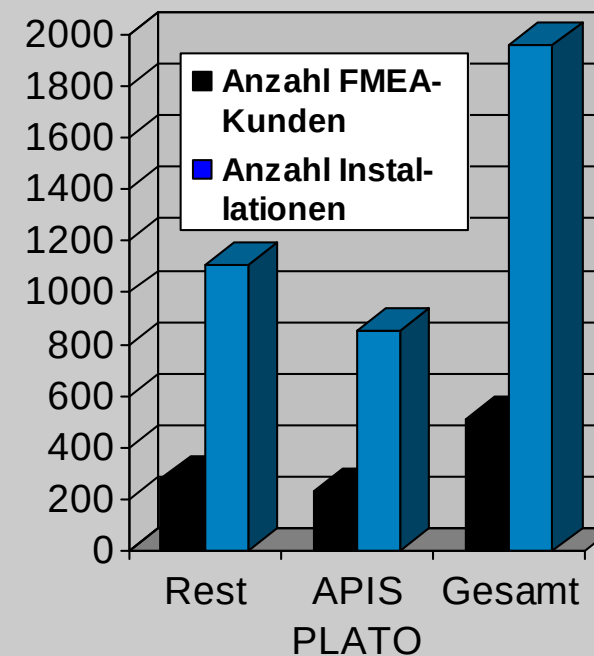
• IQ-FMEA	APIS Informationstechnologien
• FMEA-System	Plato GmbH
• QS-FMEA	CAT GmbH
• FMEA-PRO	CDE Software & Systems GmbH
• FMEA/WIN	CS Informatik GmbH
• copro-FMEA	CYTEC Datensysteme GmbH
• FMEA ^{Plus}	GFQ Software
• QSYS-FMEA	IBS GmbH
• i/FMEA	IMC
• Queen-FMEA	Kistner Messtechnik
• RQM-FMEA	Pickert & Partner GmbH
• QSi-FMEA	SINIC Computertechnik GmbH
• SIT-FMEA	SIT

.....

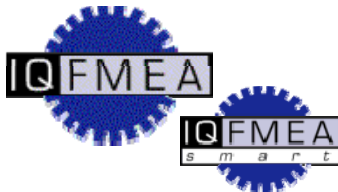
EDV-Systeme zur FMEA

IPA-Marktbefragung 1997:

- ca. 50 Systemanbieter
- FMEA-Systeme oftmals Bestandteil (Modul) eines CAQ-Systems
- überwiegend lauffähig auf PCs unter Windows
- Kosten von ca. 780.- DM bis ca. 12.000.- DM (Einzelplatzlizenz)



Vorstellung FMEA - Software

Firma	Software
 APIS	iq - FMEA (www.fmea.de)
 PLATO 	FMEA-System (mit Schnittstelle zu Fehlerbaumanalyse FBA) www.plato.de



www.plato.de

Firmenlizenzen:

- ✓ ABB
- ✓ Adam Opel
- ✓ Continental
- ✓ Bertrand Faure
- ✓ DASA
- ✓ MTU
- ✓ OSRAM
- ✓ Volkswagen Konzern
- ✓ Wella

...



FMEA System II - [White Coffee]

FMEA Edit Navigate Administration Analysis View Options Window Help

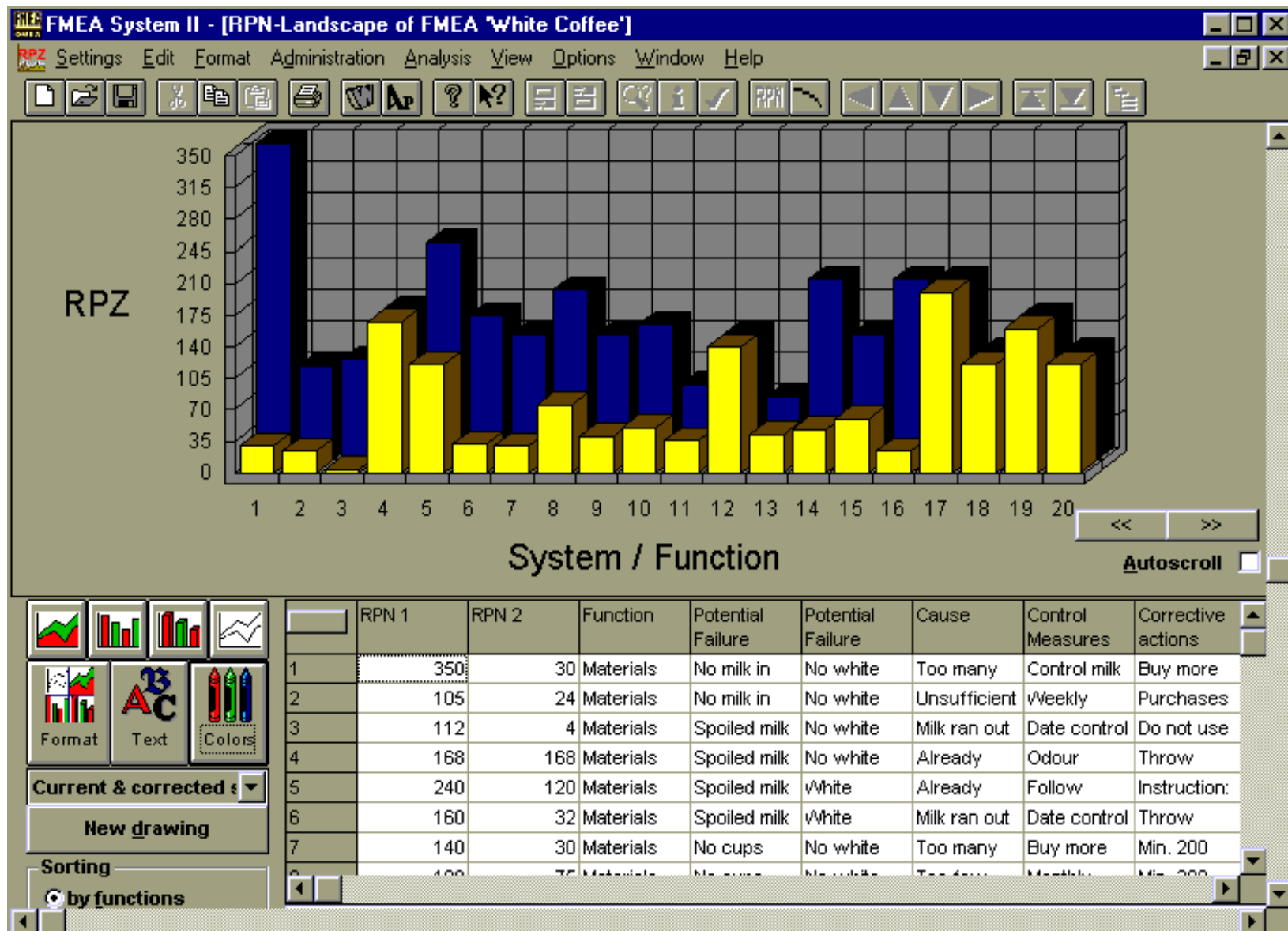
FMEA Type: Process **Subject:** White coffee / Hot drink

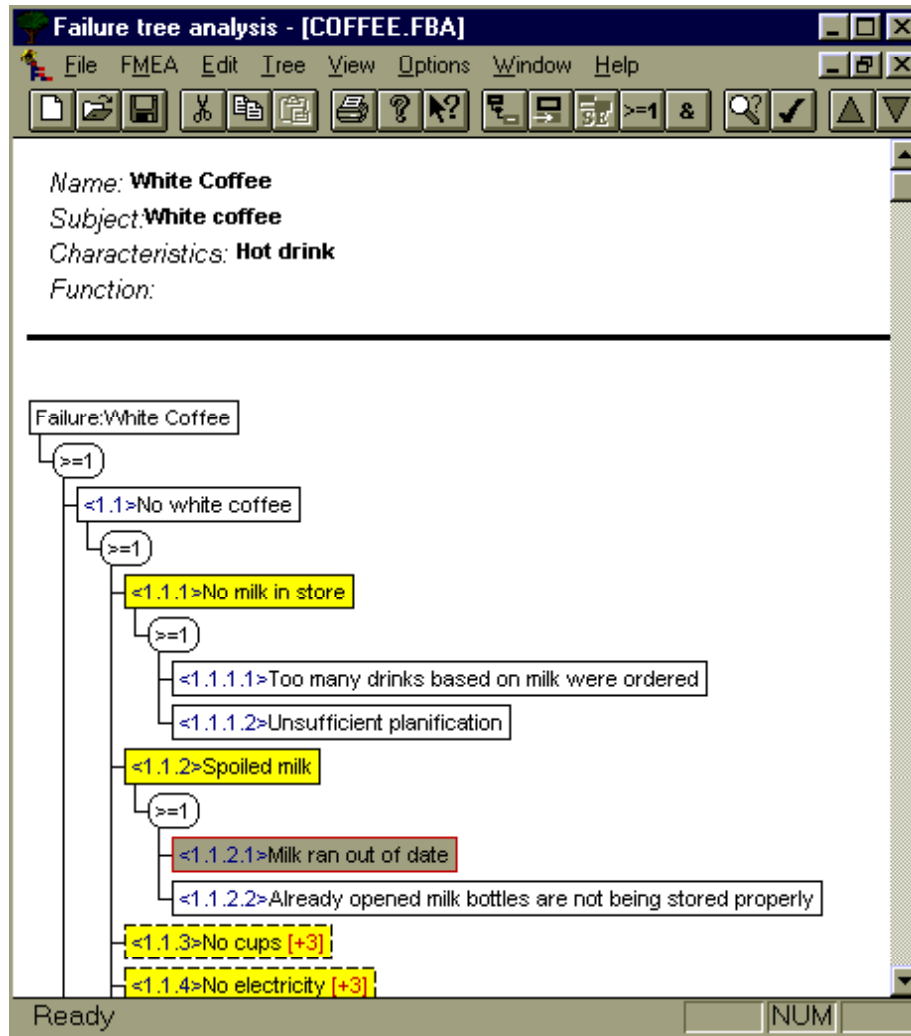
Current Entry: **Status:** Preliminary

Last Change: 29.05.1997 [Show Users](#)

Status of Change: 29.05.1997 29.05.1997

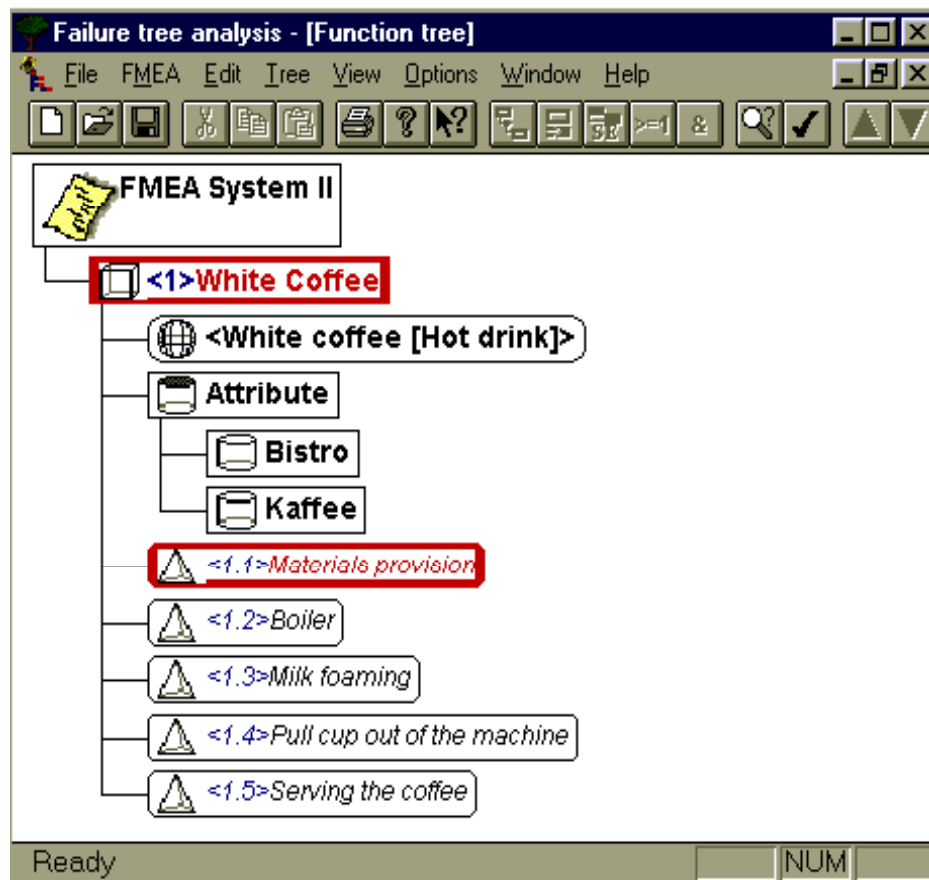
	Function	Potential Failure	Potential Failure Consequence	C	Cause	Control Measures	O	S	D	RPN	Corrective Actions	to be processed by	Actions taken	O	S	D
▲	Materials provision	No milk in store	No white coffee	N	Too many drinks based on milk were ordered	Control milk on store	5	7	10	350	Buy more milk	Schorn - 30.05.1998	Buy more milk	3	2	5
					Unsufficient planification	Weekly purchasing plan	5	7	3	105	Purchases dept. will buy according to plan	Fischer - 30.07.1997	Purchases dept. will buy according to plan	2	4	3
		Spoiled milk	No white coffee	N	Milk ran out of date	Date control	4	7	4	112	Do not use milk out of date	Guest - 30.05.1997	Do not use milk out of date	2	2	1
					Already opened milk bottles are not being stored properly	Odour control before utilisation	4	7	6	168	Throw away opened milk bottles every day	Schorn - 30.05.1997	Throw away opened milk bottles every day	4	7	6
			White coffee was prepared with sour	N	Already opened milk bottles are not being stored properly	Follow procedure instructions	4	10	6	240	Instruction: Milk must be consumed at the same day	Schorn - 11.04.1996	Instruction: Milk must be consumed at the same day	2	10	6





Graphische Darstellung der Abhängigkeiten zwischen den Fehlerarten und ihren Fehlerfolgen.

Ausgehend von dem unerwünschten Ereignis wird nach den Ursachen gesucht und deren Zusammenhang.

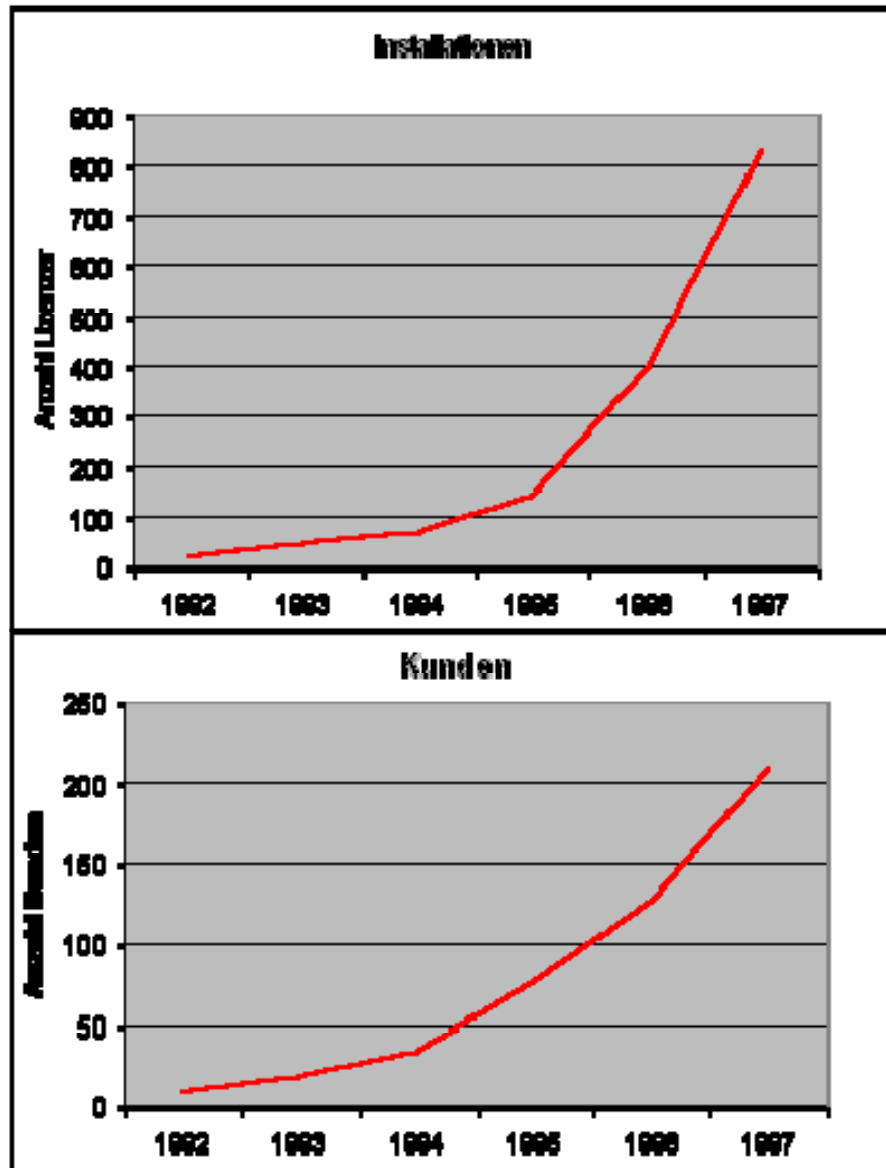


Genauso besteht die Möglichkeit einen Fehlerbaum in das FMEA-System zu transferieren.

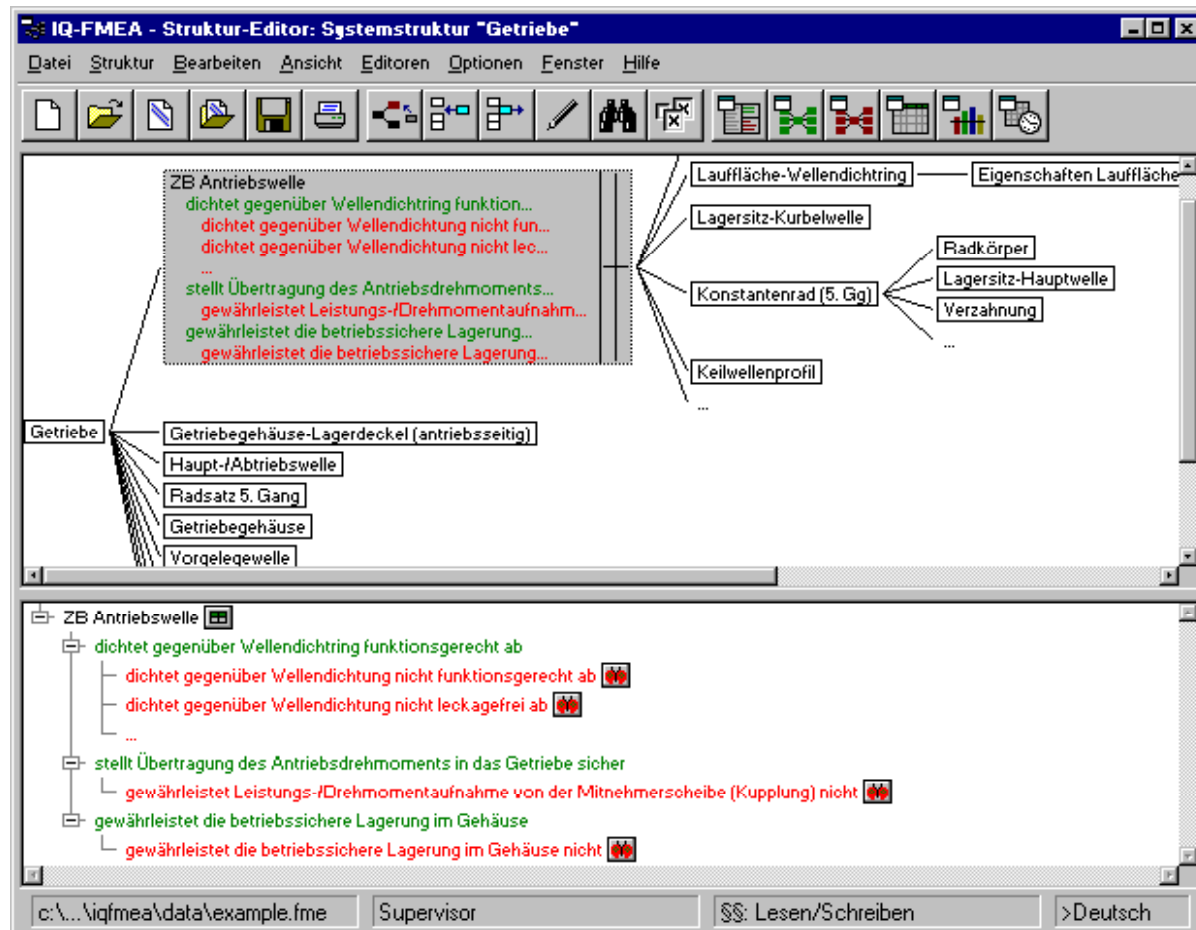


Firmenlizenzen von iq-FMEA:

BMW AG, München
 Brose Fahrzeugteile GmbH u. Co KG
 Daimler Benz AG, Stuttgart
 Hella GmbH, Lippstadt
 INA Wälzlager GmbH, Herzogenaurach
 MAN Nutzfahrzeuge AG, München
 Montaplast, Morsbach
 Rheinmetall Pierburg GmbH, Neuss
 Siemens AG, Automotive, München
 WEBASTO GmbH, München
 WABCO GmbH, Hannover



- ❑ Alle Editoren sind vollintegriert, so dass Änderungen durchgängig und sofort überall sichtbar werden.
- ❑ Direkte Eingabe von Informationen in allen Ansichten und Editoren.
- ❑ Wiederverwendung bestehender Informationen über Auswahllisten.
- ❑ Kopieren und Verschieben von Informationen per Drag&Drop.
- ❑ WYSIWYG beim Drucken aus allen Editoren direkt und ohne Zusatzsysteme.
- ❑ Unterstützung von Teamwork via Internet/ Intranet, HTML-Export aller Formblätter+E-Mail-Unterstützung.
- ❑ Verfügbare Benutzersprachen (Programmoberfläche): deutsch, englisch, französisch und spanisch.
- ❑ Werkzeuge zur Pflege der Datenübersetzung.
- ❑ Unterstützung sowohl der direkten Formblattbearbeitung als auch des strukturierten Vorgehens.
- ❑ Versionieren einzelner Bearbeitungsstände von FMEA-Formblättern.
- ❑ Umschalten zwischen allen gängigen FMEA-Formblatt-Layouts per Mausklick.
- ❑ Integration der QS-9000 Dokumente APQP und Process Flow Chart.
- ❑ Vergabe von Zugriffsrechten in der Software für einzelne Systemstrukturen.
- ❑ Fehlerbaumberechnung nach DIN 25 424.
- ❑ Terminverfolgung für Optimierungsmaßnahmen.
- ❑ Statistische Auswertung der FMEA-Informationen.
- ❑ Exportmöglichkeiten zur Weiterverarbeitung von FMEA-Informationen in Standard-Systemen.
- ❑ Hohe Leistungsfähigkeit als echte 32-Bit-Anwendung.



Hierarchische Gliederung des betrachteten Systems (Produkt, Prozess) in Systemelemente (Baugruppen, Bauteile oder Prozessschritte) im Struktur-Editor.

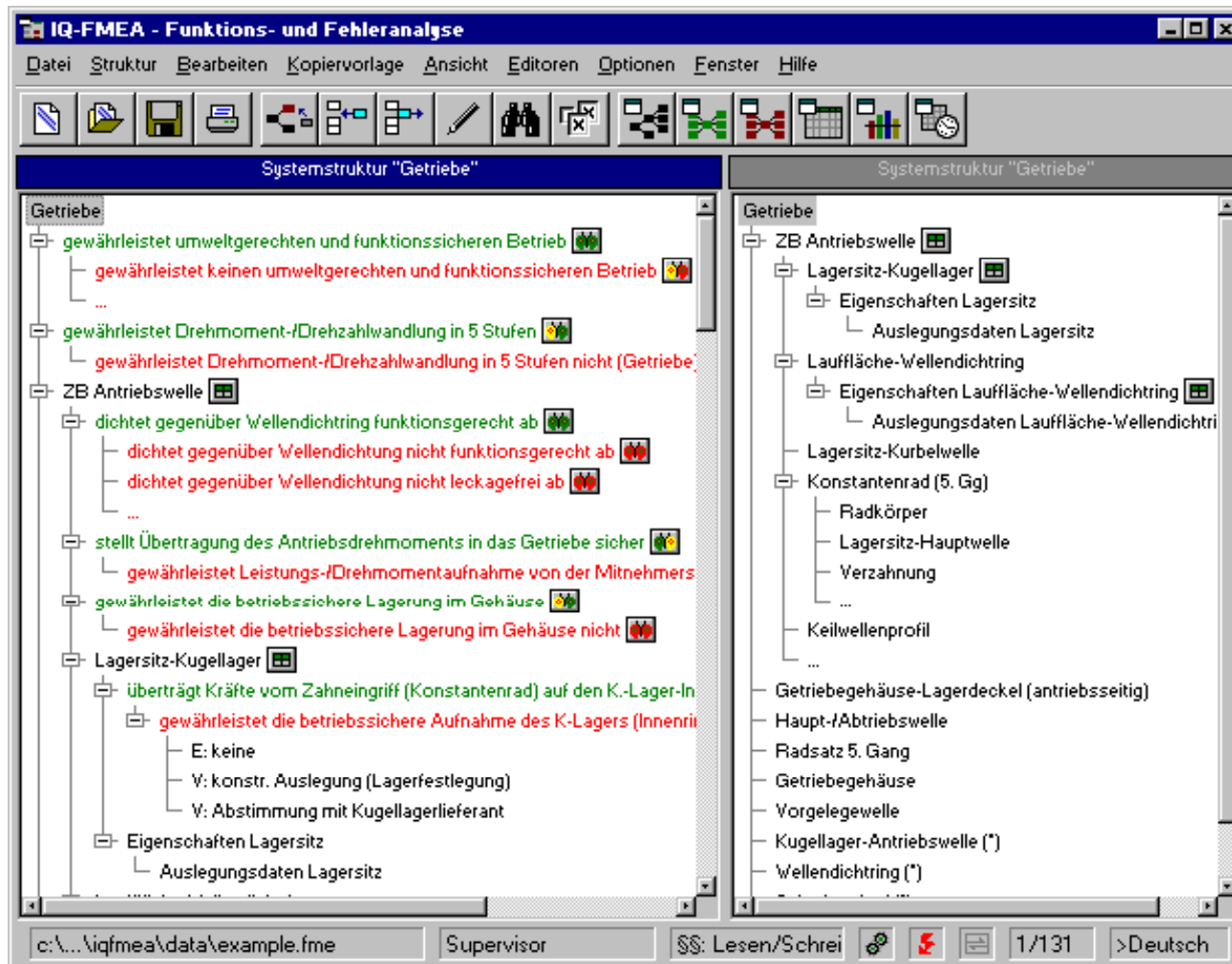
Möglichkeit der Einblendung der

Funktionen (grün)

und der

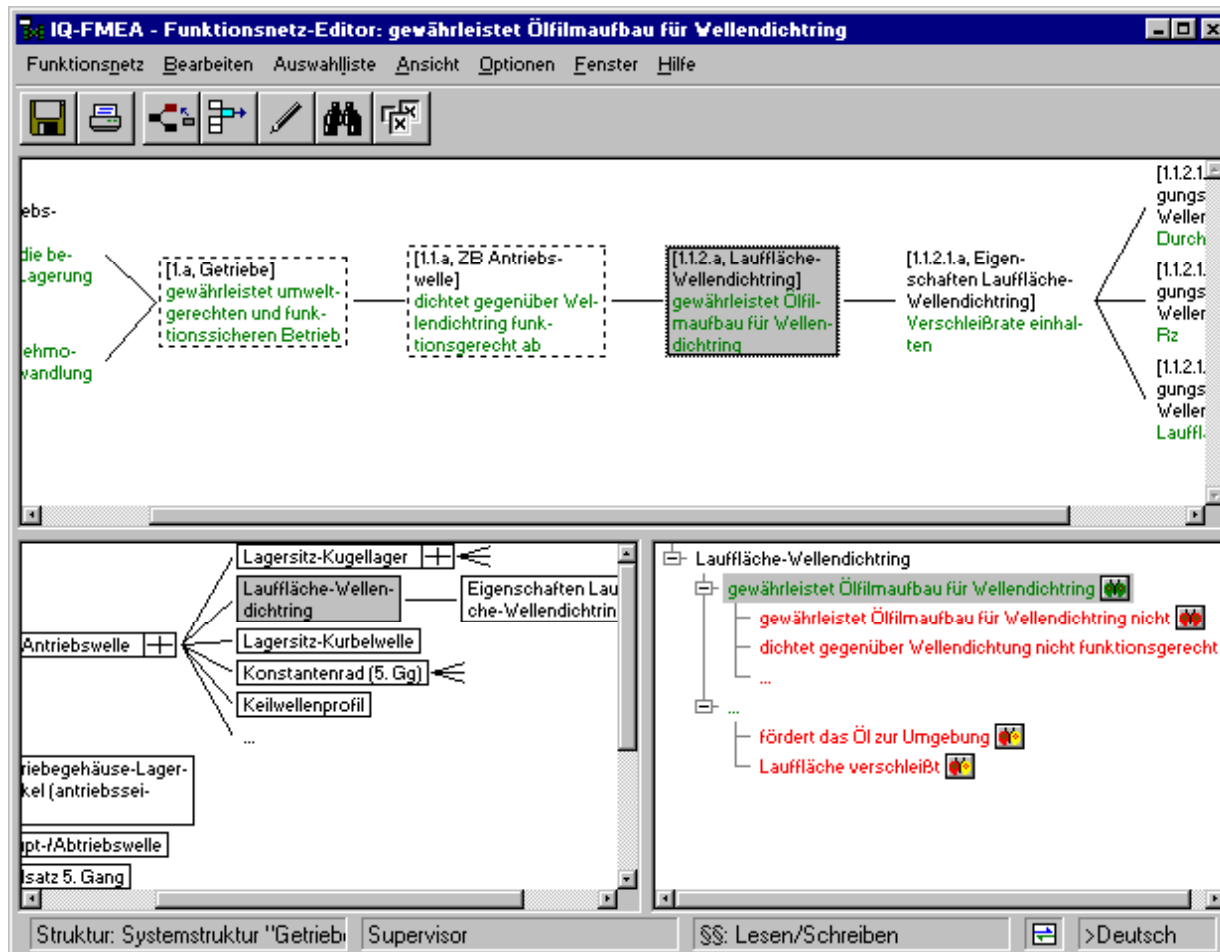
Fehlfunktionen (rot)

als Liste (oben) oder in der graphischen Darstellung (unten)

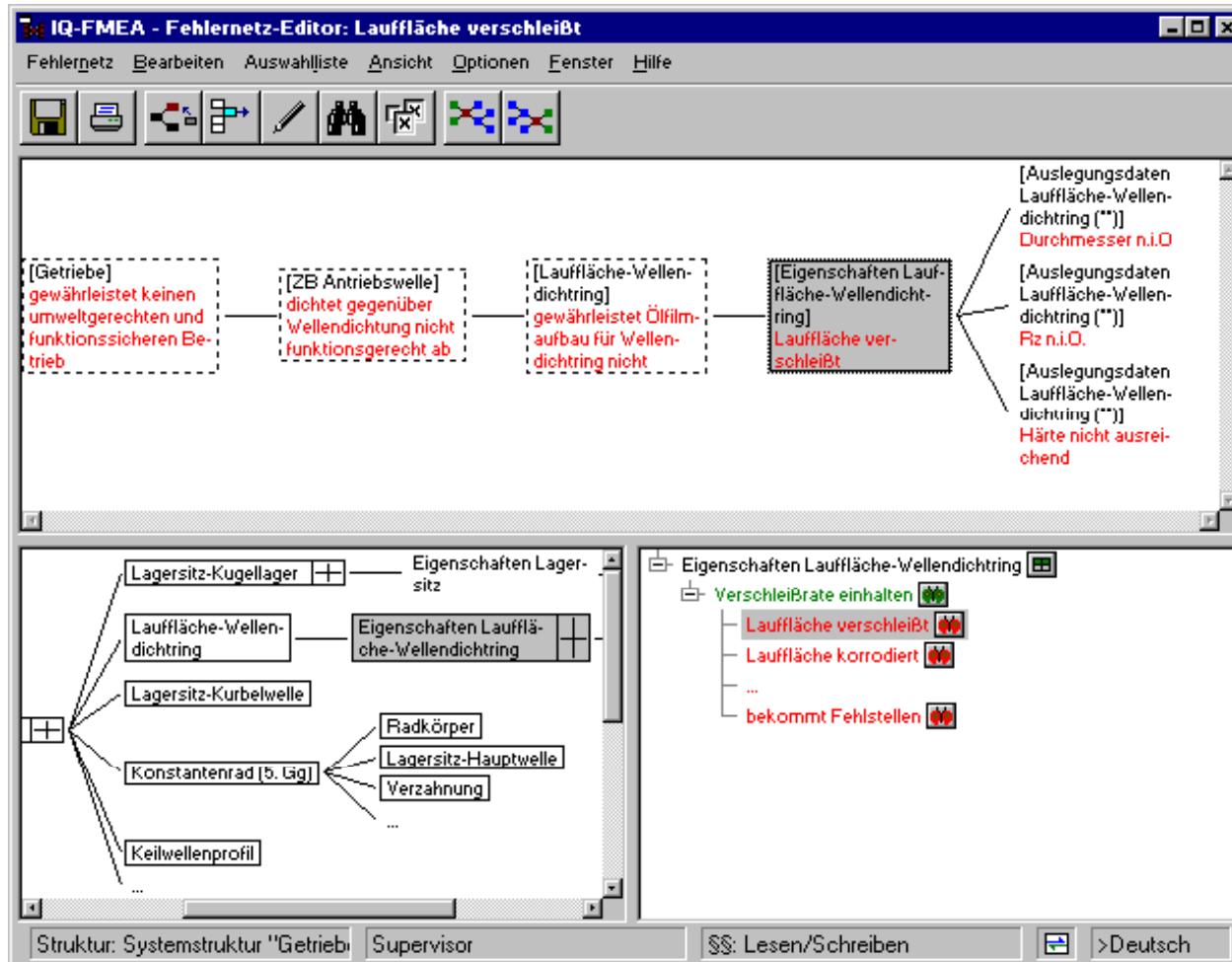


In der Funktions- und Fehleranalyse werden die Aufgaben der einzelnen Baugruppen und -teile durch das Definieren von Funktionen festgelegt.

Desweiteren werden für jede Funktion die möglichen Fehlfunktionen beschrieben.



Der Funktionsnetz-Editor dient zum Modellieren der funktionalen Zusammenhänge der einzelnen Strukturelemente. Teilfunktionen, die in der Summe eine Funktion beschreiben, werden in der zugeordneten Funktionsstruktur untereinander logisch verknüpft.



Im Fehlernetz-Editor werden für die möglichen Fehler die Fehlerfolgen und Fehlerursachen bestimmt.

iq-FMEA - Formblatt-Editor VDA 96: ZB Antriebswelle

Formblatt Bearbeiten Auswahlliste Kopiervorlage Ansicht Optionen Fenster Hilfe

Mögliche Fehlerfolgen B Mögliche Fehler Mögliche Fehlerursachen Vermeidungsmaßnahmen A Entdeckungsmaßnahmen E R-PZ WIT

Systemelement: ZB Antriebswelle

Funktion: dichtet gegenüber Wellendichtring funktionsgerecht ab

[Getriebe] gewährleistet keinen umweltgerechten und funktionssicheren Betrieb	8	dichtet gegenüber Wellendichtring nicht funktionsgerecht ab	[Lauffläche-Wellendichtring] gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellendichtring nicht	Anfangsstand: 10.04.1998	Rautiefe nach DIN	10	Werkstoffprüfung durch ZWT	10	800	Mayer, Hans	15.12.1997	abgeschlossen
					System-FMEA Prozeß (")		Geräuschanalyse					
			[Lauffläche-Wellendichtring] Lauffläche verschleißt	Anfangsstand: 10.04.1998	Experten-Know-how	6	Schwingungsmessung	5	240	Müller, Johan	20.03.1998	abgeschlossen
					konstr. Auslegung (Lagerfestlegung)		Geräuschanalyse					
					Verzahnungsgeometrie überprüfen							
[Getriebe] gewährleistet keinen umweltgerechten und funktionssicheren Betrieb	8	dichtet gegenüber Wellendichtring nicht leckagefrei ab	[Lauffläche-Wellendichtring] fördert das Öl zur Umgebung	Anfangsstand: 10.04.1998	konst. Auslegung: Oberfläche drallfrei geschliffen	2	Drallmessung	2	32	Schulz, Peter	02.01.2001	abgeschlossen
							Dauerlauferprobung					

Funktion: stellt Übertragung des Antriebsdrehmoments in das Getriebe sicher

[Getriebe] gewährleistet Drehmoment-/Drehzahlwandlung in 5 Stufen nicht (Getriebe)	8	gewährleistet Leistungs-/Drehmomentaufnahme von der Mitnehmerscheibe (Kupplung)	[Keilwellenprofil] gewährleistet Drehmomentübertragung nicht	Anfangsstand: 10.04.1998	konstr. Auslegung nach DIN	4	Versuchsmontage	1	32	Mayer, Hans	13.02.1998	abgeschlossen
					Abstimmung mit							

Struktur: Systemstruktur "Getriebe" ZB Antriebswelle

SS: Lesen/Schreiber

>Deutsch

Im Formblatt-Editor erfolgt die Bewertung des aktuellen Entwicklungsstandes. Die im Fehlernetz-Editor erstellte Information wird zum automatischen Ausfüllen der Spalten (Fehlerfolge, Fehler, Fehlerursachen) benutzt. Die Bedeutung der Fehlerfolgen sowie die Bewertungszahlen für Auftreten und Entdeckung werden festgelegt. Die Risikoprioritätszahl RPZ hilft Risikoschwerpunkte ausfindig zu machen. Der Formblatt-Editor unterstützt die Vorlagen nach VDA 96, VDA 86, QS-9000 und Bosch.

iq-FMEA - Terminverfolgung

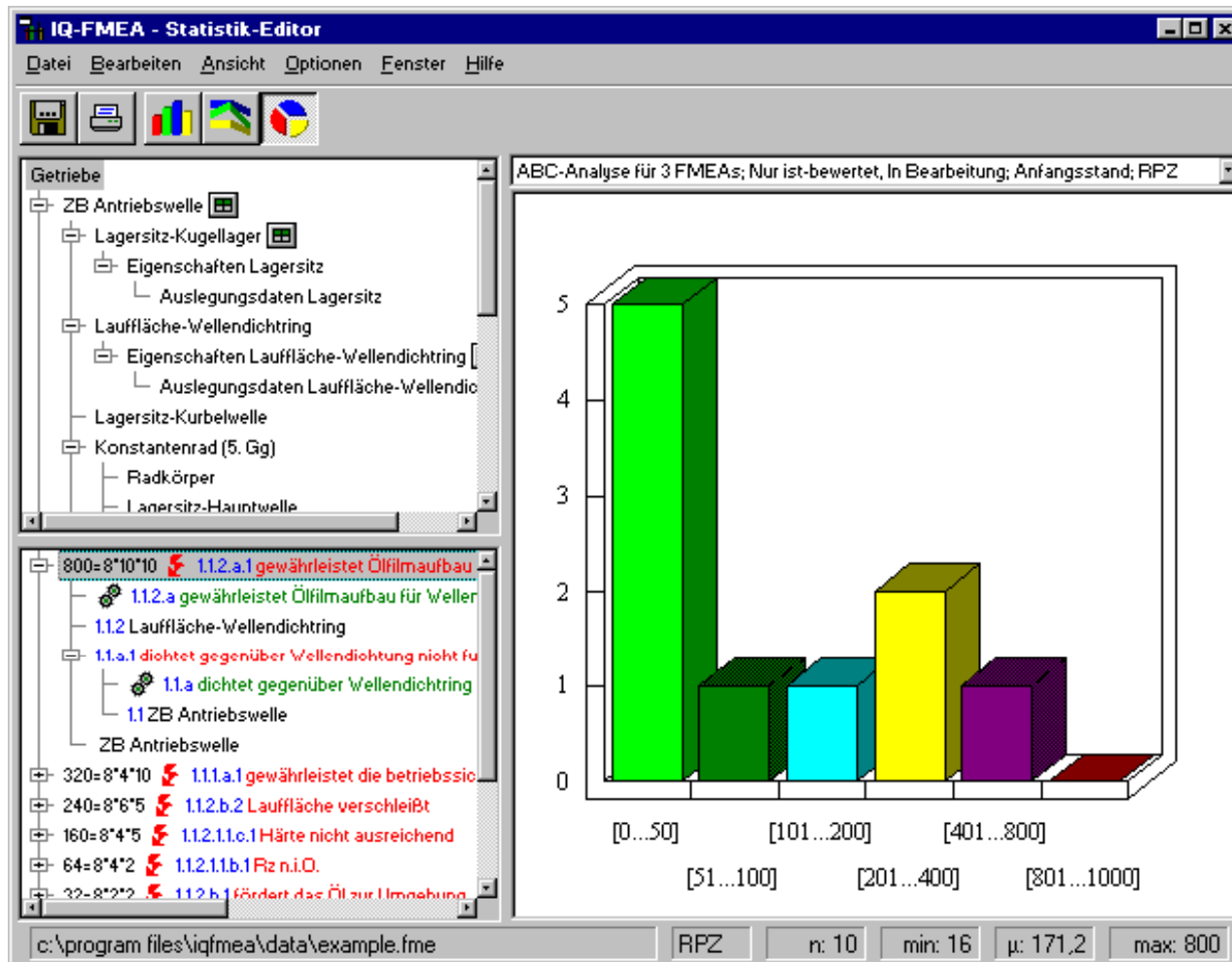
Termine Bearbeiten Ansicht Optionen Fenster Hilfe



Zustand	Datum	Verantwortlich	Vermeidungsmaßnahme	Entdeckungsmaßnahme	Mögliche Fehlerursachen	Systemelement
abgeschlossen	15.12.1997	Mayer, Hans, -4711	Experten-Know-how		Rz n.i.O.	Eigenschaften Lauffläche-Wellendichtring
abgeschlossen	15.12.1997	Mayer, Hans, -4711	Rauhtiefe nach DIN		gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellendichtring nicht	ZB Antriebswelle
abgeschlossen	15.12.1997	Mayer, Hans, -4711	System-FMEA Prozeß ("")		gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellendichtring nicht	ZB Antriebswelle
abgeschlossen	15.12.1997	Mayer, Hans, -4711		Geräuschanalyse	gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellendichtring nicht	ZB Antriebswelle
abgeschlossen	15.12.1997	Mayer, Hans, -4711		Werkstoffprüfung durch ZWT	gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellendichtring nicht	ZB Antriebswelle
abgeschlossen	13.02.1998	Mayer, Hans, -4711	Abstimmung mit Kupplungslieferant		gewährleistet Drehmomentübertragung nicht	ZB Antriebswelle
in Bearbeitung	13.02.1998	Müller, Johann - AV1, -4812	Experten-Know-how		Härte nicht ausreichend	Eigenschaften Lauffläche-Wellendichtring
abgeschlossen	20.03.1998	Müller, Johann - AV1, -4812	Verzahnungsgeometrie überprüfen		Lauffläche verschleißt	ZB Antriebswelle
abgeschlossen	05.04.1998	Müller, Johann - AV1, -4812	konstr. Auslegung nach DIN		Härte nicht ausreichend	Eigenschaften Lauffläche-Wellendichtring

Alle Termine Sortiert nach: Datum 40/40 Struktur: Systemstruktur "Getriebe"

In der Terminverfolgung werden die Termine und der Abarbeitungsgrad der jeweiligen Maßnahme, in Verbindung mit dem Verantwortlichen, für eine Struktur oder Datenbank in übersichtlicher Weise dargestellt, sortiert und gefiltert.



Der Statistik-Editor bietet Möglichkeiten zur grafischen Aufbereitung der FMEA-Daten. Die Häufigkeitsanalyse visualisiert die Verteilung und Häufigkeiten der RPZ's.

Mit der Differenzanalyse kann der Wirkungsgrad der durchgeführten Maßnahmen dargestellt werden.

Funktion	Fehlerart	Fehlerfolge	Fehlerursache	Ist-Zustand					Empf. Maßnahme	Verantwortlich-keit	Termin	verbesserter Zustand				
				Maßnahme	A	B	E	RPZ				Getr. Maßnah-me	A	B	E	RPZ
Systemelement: Eigenschaften Lauffläche-Wellendichtring																
Verschleißrate einhalten	Lauffläche verschleißt	gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellendichtring nicht	Härte nicht ausreichend	E: Härtemessung durch Versuch	4	8	5	160	E: Bestätigung durch Versuch	Müller, Johann - AV1	KW 43, 1998		4	8	2	(64)
		V: Experten-Know-how		Müller, Johann - AV1												
		V: konstr. Auslegung nach DIN		V: Experten-Know-how												
		V: System-FMEA Prozeß ("")		Müller, Johann - AV1												
				V: konstr. Auslegung nach DIN												
				Müller, Johann - AV1												
Durchmesser n.i.O.																
Rz n.i.O.																

		FMEA Konstruktion						Nummer: Seite:	
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Systemstruktur "Getriebe"				Sach-Nummer: Änderungsstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 23.02.1998	
FMEA/Systemelement: Eigenschaften Lauflfläche-Wellendichtring				Sach-Nummer: Änderungsstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 17.04.1998 Verändert: 20.07.1998	
Mögliche Fehlerfolgen	B	Mögliche Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	V/T
Systemelement: Eigenschaften Lauflfläche-Wellendichtring									
Funktion: Verschleißrate einhalten									
gewährleistet Ölfilm-aufbau für Wellendichtring nicht	?	Lauffläche verschleißt	Härte nicht ausreichend	Anfangsstand: 17.04.1998					
> dichtet gegenüber Wellendichtung nicht funktionsgerecht ab	?			Experten-Know-how	4	Härtemessung durch Versuch	5	160	
				konstr. Auslegung nach DIN					
				System-FMEA Prozeß (**)					
>> gewährleistet keinen umweltgerechten und funktionssicheren Betrieb	8			Änderungsstand: 02.05.1998					
				Experten-Know-how Müller, Johann - AV1 Kw 43, 1998 unbearbeitet	4	Bestätigung durch Versuch Müller, Johann - AV1 Kw 43, 1998 unbearbeitet	2	(64)	Kw 43, 1998 unbearbeitet Müller, Johann - AV1
				konstr. Auslegung nach DIN Müller, Johann - AV1 Kw 43, 1998 unbearbeitet					
				System-FMEA Prozeß (**) Müller, Johann - AV1 Kw 43, 1998 unbearbeitet					
			Durchmesser n.i.O.						
			Rz n.i.O.						

Funktion	Fehlerart	Fehlerfolge	B	K	Fehlerursache	A	Maßnahme	E	RPZ	Empf. Maßnahme	V/T	verbesserter Zustand				
												Getr. Maßnahme	B	A	E	RPZ
Systemelement: Eigenschaften Lauffläche-Wellendichtring																
Verschleißrate einhalten	Lauffläche verschleißt	gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellendichtring nicht	?	▽	Härte nicht ausreichend	4	E: Härtemessung durch Versuch	5	160	E: Bestätigung durch Versuch	Müller, Johann - AV1 KW 43, 1998		8	4	2	(64)
		> dichtet gegenüber Wellendichtung nicht funktionsgerecht ab	?				V: Experten-Know-how			Müller, Johann - AV1 KW 43, 1998						
		>> gewährleistet keinen umweltgerechten und funktionssicheren Betrieb	8				V: konstr. Auslegung nach DIN			V: Experten-Know-how Müller, Johann - AV1 KW 43, 1998						
							V: System-FMEA Prozeß (**)			V: konstr. Auslegung nach DIN Müller, Johann - AV1 KW 43, 1998						
										V: System-FMEA Prozeß (**) Müller, Johann - AV1 KW 43, 1998						
		Durchmesser n.i.O.														
		Rz n.i.O.														

 QUALITÄTSSICHERUNG		KONSTRUKTIONS - F M E A ERZEUGNIS: Eigenschaften Lauffläche-/Wellendichtring SACH-NR:									SEITE: ABT.: FMEA-NR.: 1.5.2.1 DATUM: 20.07.1998			
NR.	KOMPONENTE PROZESS	FUNKTION	FEHLER- ART	FEHLER- FOLGE	K	FEHLER- URSACHE	FEHLER- VERMEIDUNG	FEHLER- ENTDECKUNG	B	A	E	RPZ	MASSNAHMEN V./T:	
1.5.2.1.1.c.1	Eigenschaften Lauffläche-/Wellendichtring	Verschleißrate einhalten	Lauffläche verschleißt	B: gewährleistet Ölfilmaufbau für Wellendichtring nicht	▽	Härte nicht ausreichend	Experten-Know-how	Härtemessung durch Versuch	8	4	5	160		
B: > dichtet gegenüber Wellendichtung nicht funktionsgerecht ab					konstr. Auslegung nach DIN									
B: 8 >> gewährleistet keinen umweltgerechten und funktionssicheren Betrieb					System-FMEA Prozeß (**)									
1.5.2.1.1.a.1						Durchmesser n.i.O.			8					
1.5.2.1.1.b.1						Rz n.i.O.			8					

Anbieter Merkmale		
Vorgehen	VDA-konform, Strukturbaum 	Nach VDA-Formblatt 
Auswertung	Statistikeditor 	Risikolandschaft 
Größte Kunden	BMW, Daimler-Chrysler, INA, MAN, Hella, ... 	ABB, Opel, Conti, DASA, MTU, VW, ... 
Schnittstelle	SGML-Schnittstelle um Daten ein- und auszulesen 	OLE/ COM - fähig 
Kosten	??? 	DM 5.400,- 
Demoversion	www.fmea.de 	www.plato.de 

- 4.1 Grundlagen und Allgemeines zur FMEA Methodik
- 4.2 FMEA nach VDA 86 (Formblatt FMEA)
- 4.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86
- 4.4 FMEA nach VDA 4 (2006)
- 4.5 Beispiel einer **Prozess-FMEA** nach **VDA 4**
- 4.6 DAMUK-Methode
- 4.7 Softwareunterstützung
- 4.8 Übungsbeispiel**