

Konstruktion

Prof. Dr.-Ing. Martin Bothen

SS 2021



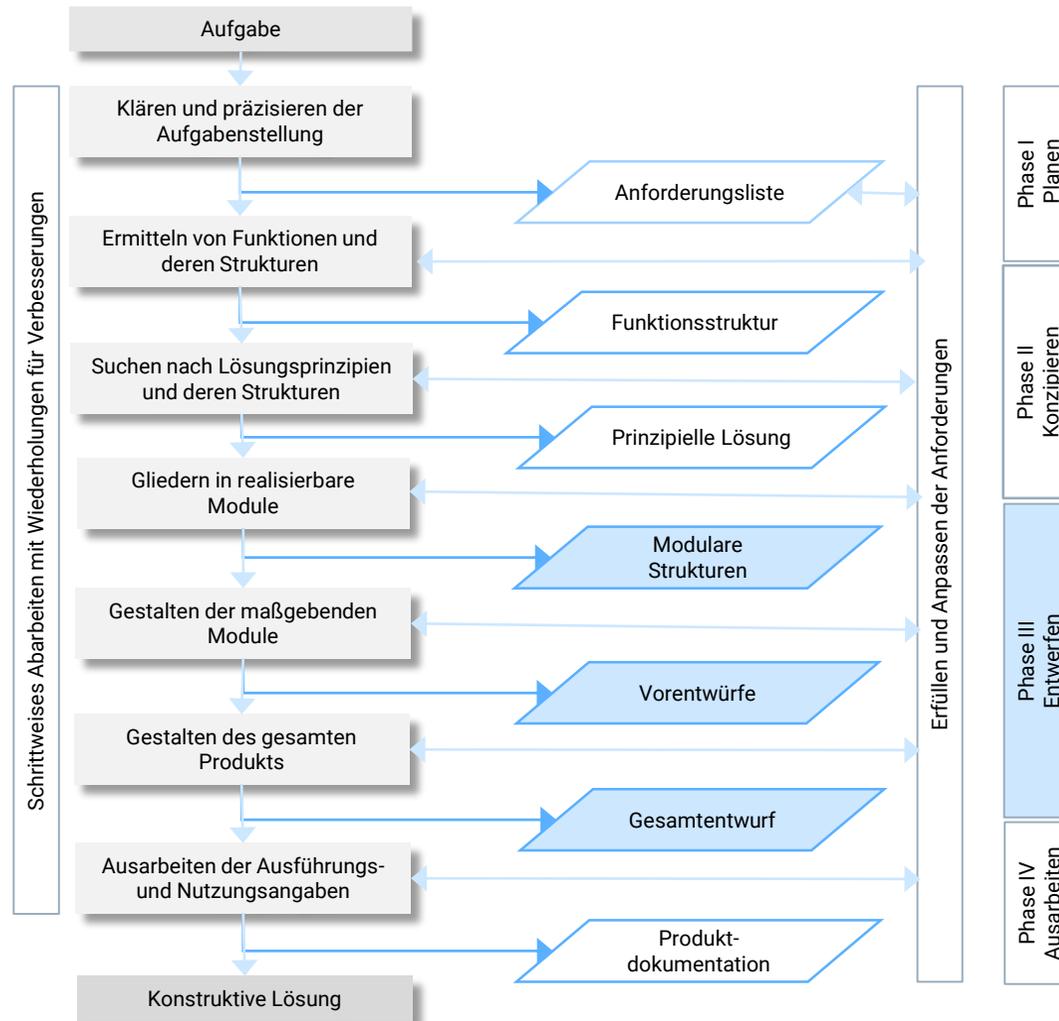
TH Aschaffenburg
university of applied sciences

Phase III: Entwerfen

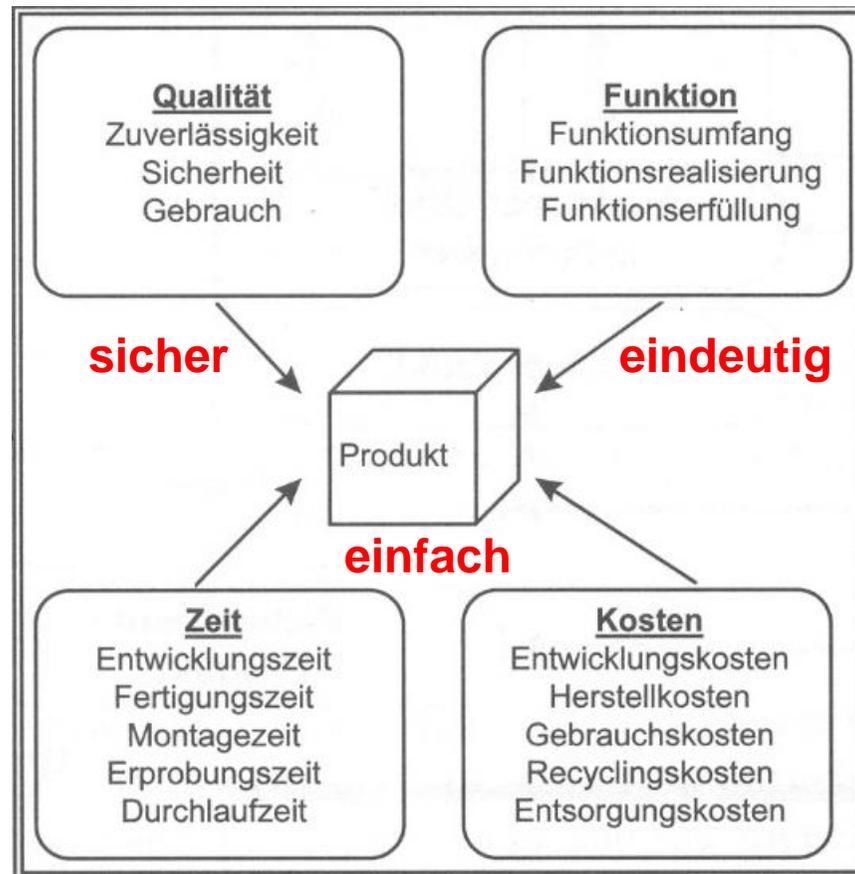
VDI-Richtlinie 2221 - „*Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*“

- **Phase III: Entwerfen**
 - Grundsätzliches Vorgehen
 - Grundregeln zur Gestaltung: eindeutig, einfach, sicher
 - Gestaltungsprinzipien
 - Gestaltungsrichtlinien
 - Qualitätssicherung beim Entwerfen

Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221

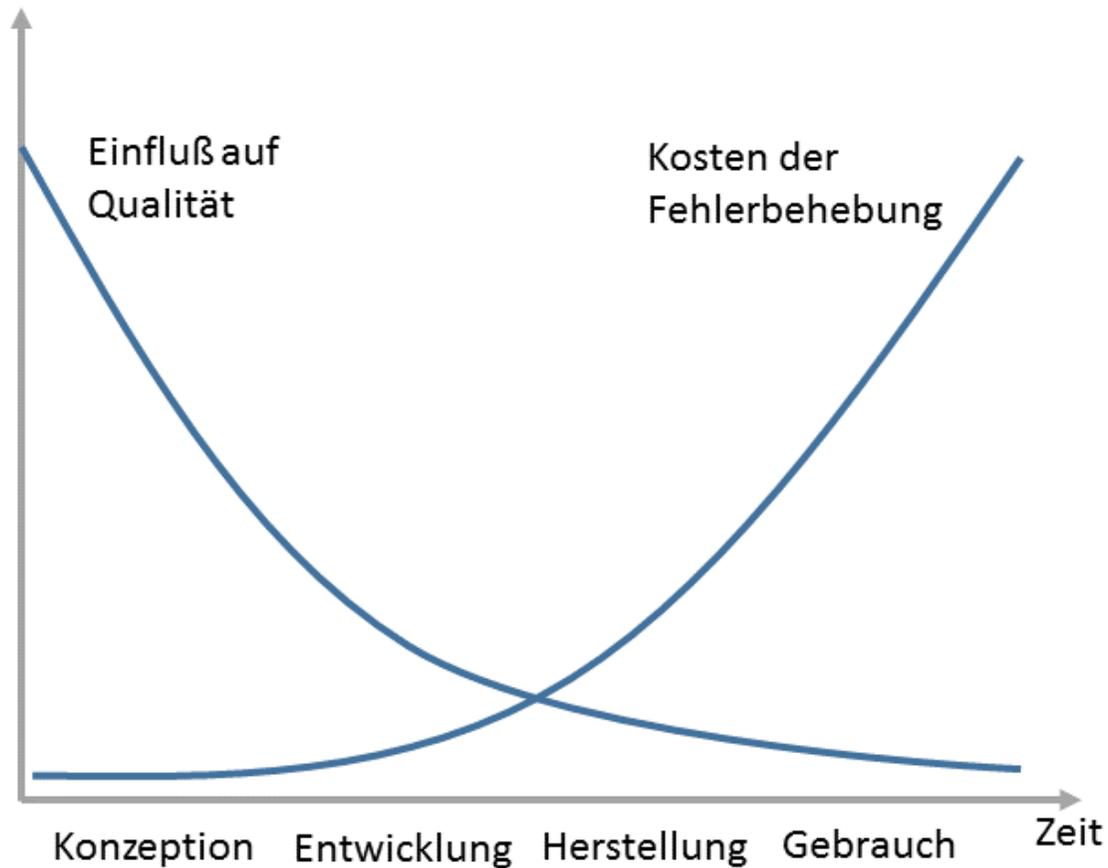


Einflussfaktoren auf die Produktentwicklung

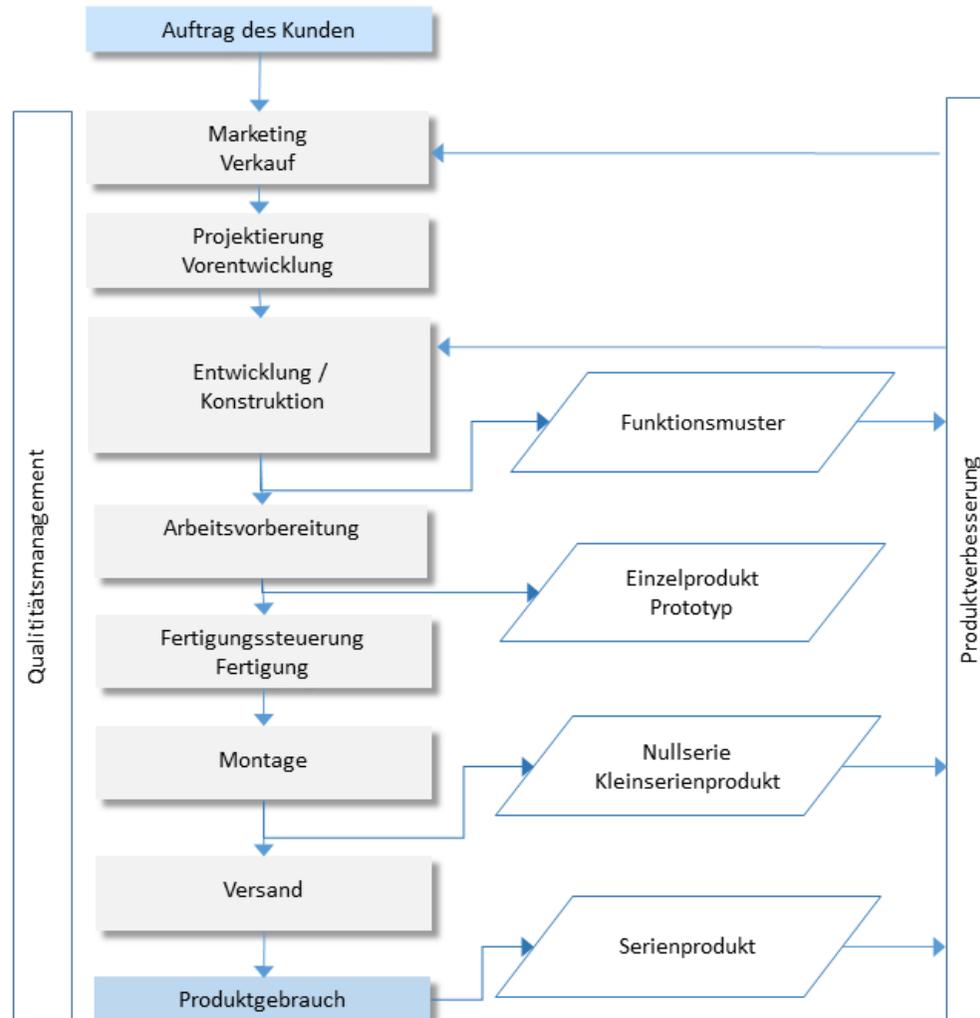


Qualitätssicherung beim Entwerfen

Fehler und Störgrößen müssen frühzeitig erkannt werden!



Qualitätssicherung beim Entwerfen



Methoden zur Qualitätssicherung

Fehlerbaumanalyse

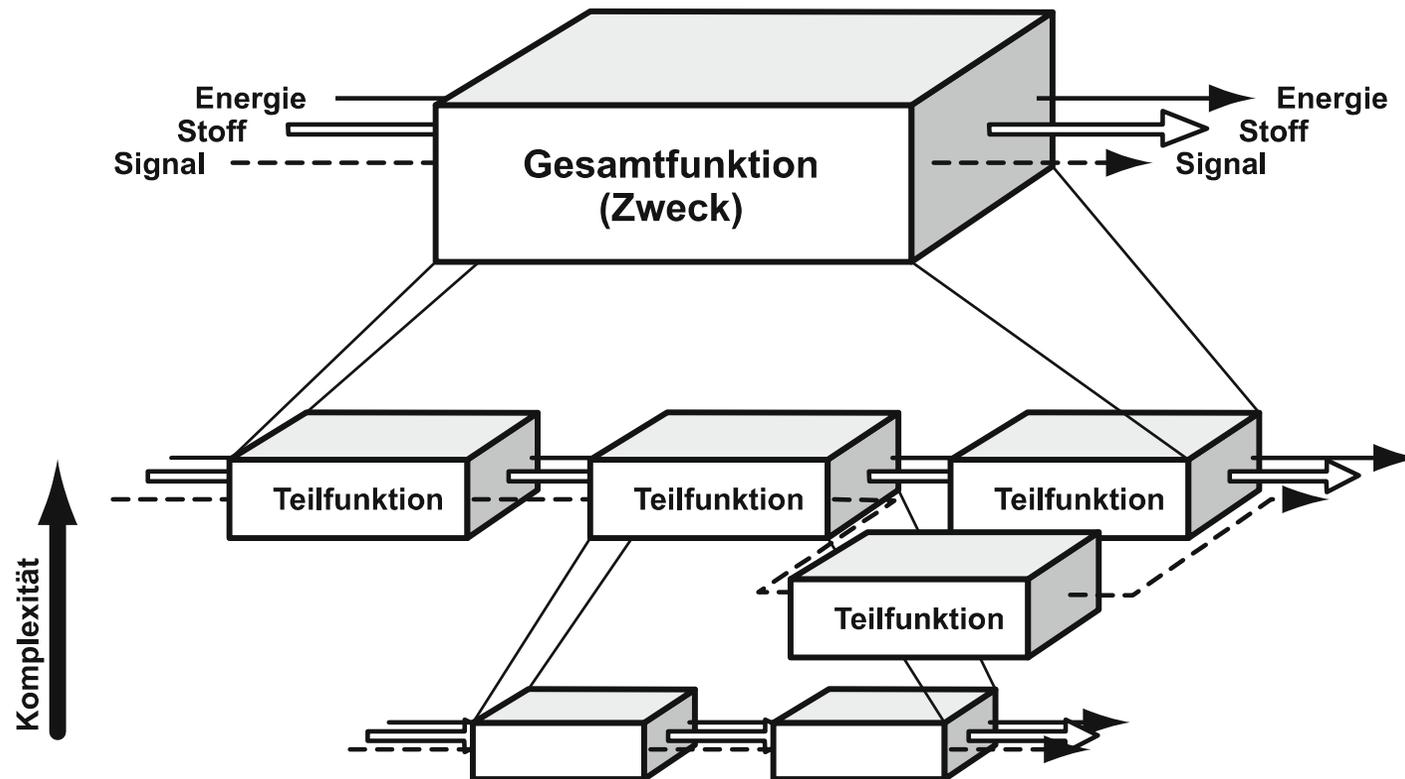
Sämtliche erkannte Funktionen werden nacheinander negiert (unterstellen, dass sie nicht erfüllt werden). Anhand der Leitlinie (Gestalten, Kontrollieren) werden Ursachen eines solchen Fehlverhaltens oder Störgrößeneinflüsse gesucht.

Fehlerbaumanalyse wird auch zur Suche nach Störgrößeneinflüssen genutzt.

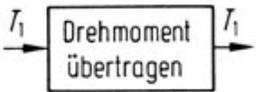
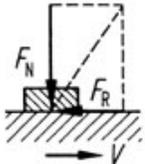
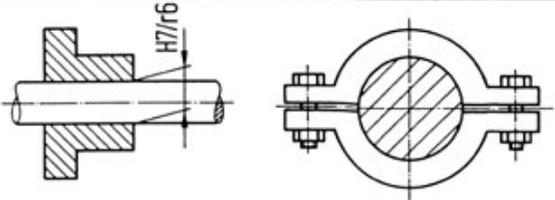
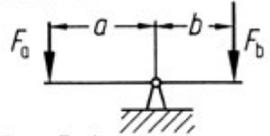
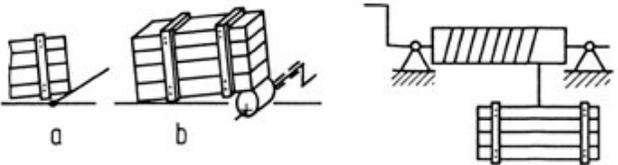
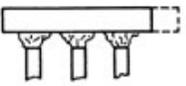
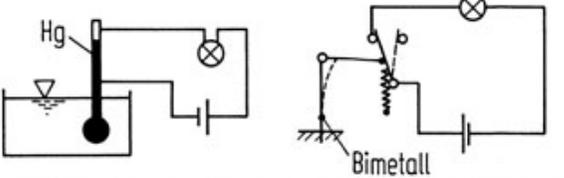
Ursachen für Störgrößen:

- keine eindeutige Zuordnung der Teilfunktionen -> Fehler in der Funktionsstruktur
- physikalischer Effekt führt nicht zur angenommenen Wirkung -> Falsch gewähltes Wirkprinzip
- Ungeeignete Werkstoffauswahl -> Gestaltungsrichtlinien nicht berücksichtigt
- Toleranzen nicht berücksichtigt -> Gesamtentwurf nicht eindeutig, einfach, sicher

Bilden einer Funktionsstruktur durch Aufgliedern einer Gesamtfunktion in Teilfunktionen

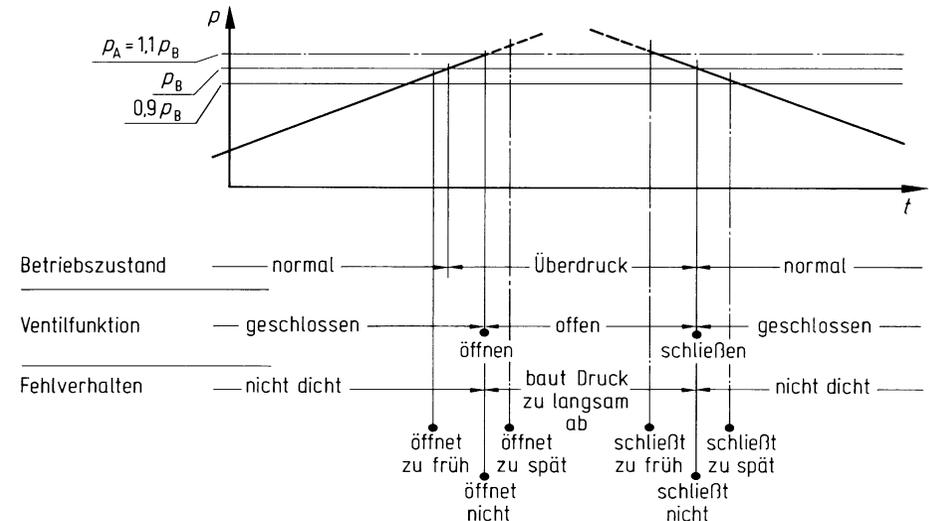
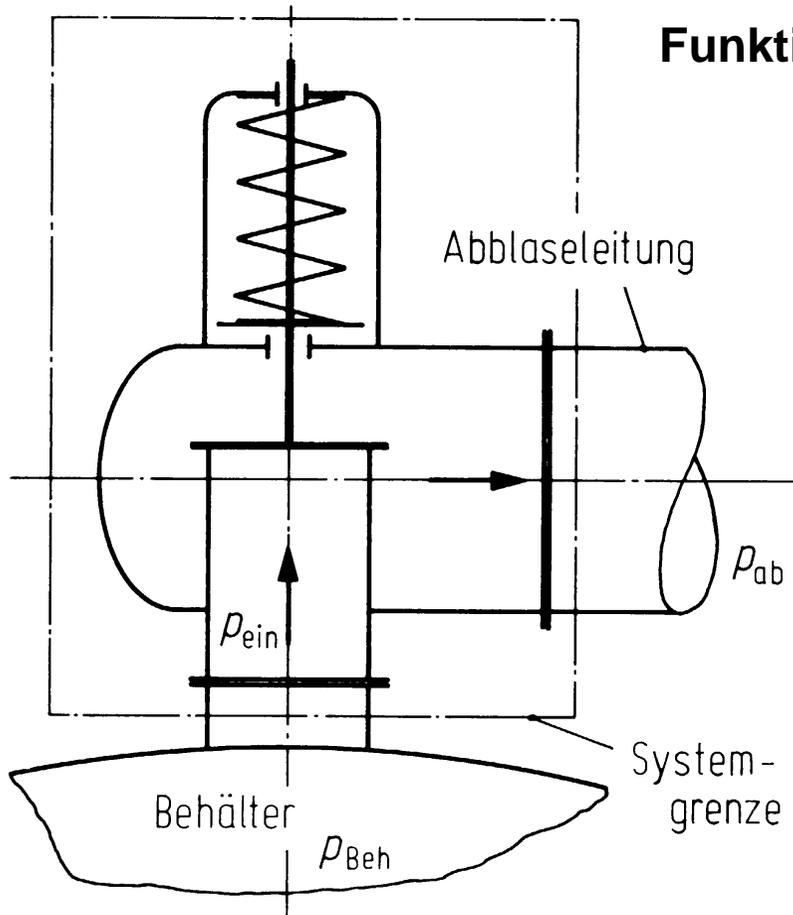


Erfüllen von Teilfunktionen durch Wirkprinzipien

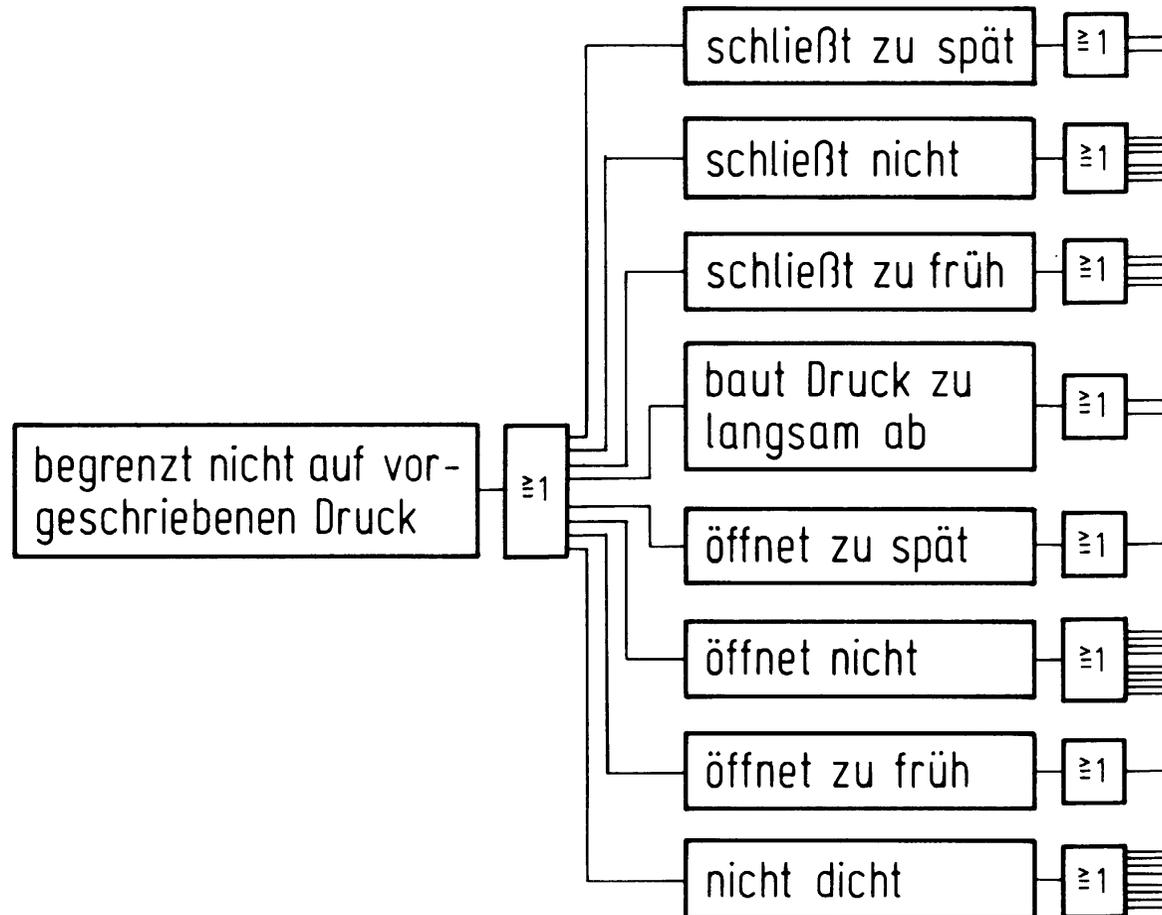
Teilfunktionen	Physikal. Effekte (lösungsneutral)	Wirkprinzipien für eine Teilfunktion (Phys. Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale)
	<p>Reibungseffekt</p>  $F_R = \mu \cdot F_N$	
	<p>Hebeleffekt</p>  $F_a \cdot a = F_b \cdot b$	
	<p>Ausdehnungseffekt</p>  $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta \vartheta$	

Beispiel: Sicherheits-Abblaseventil für Gasbehälter

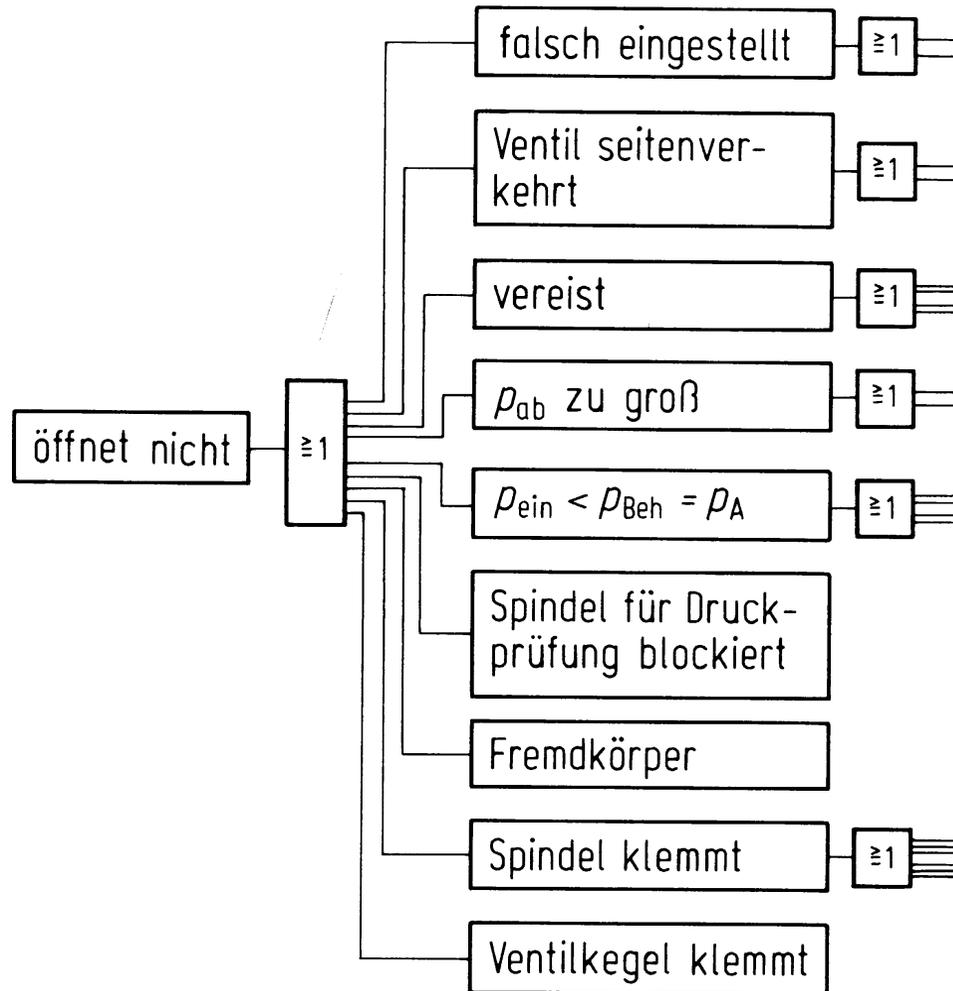
Funktion: Druck begrenzen



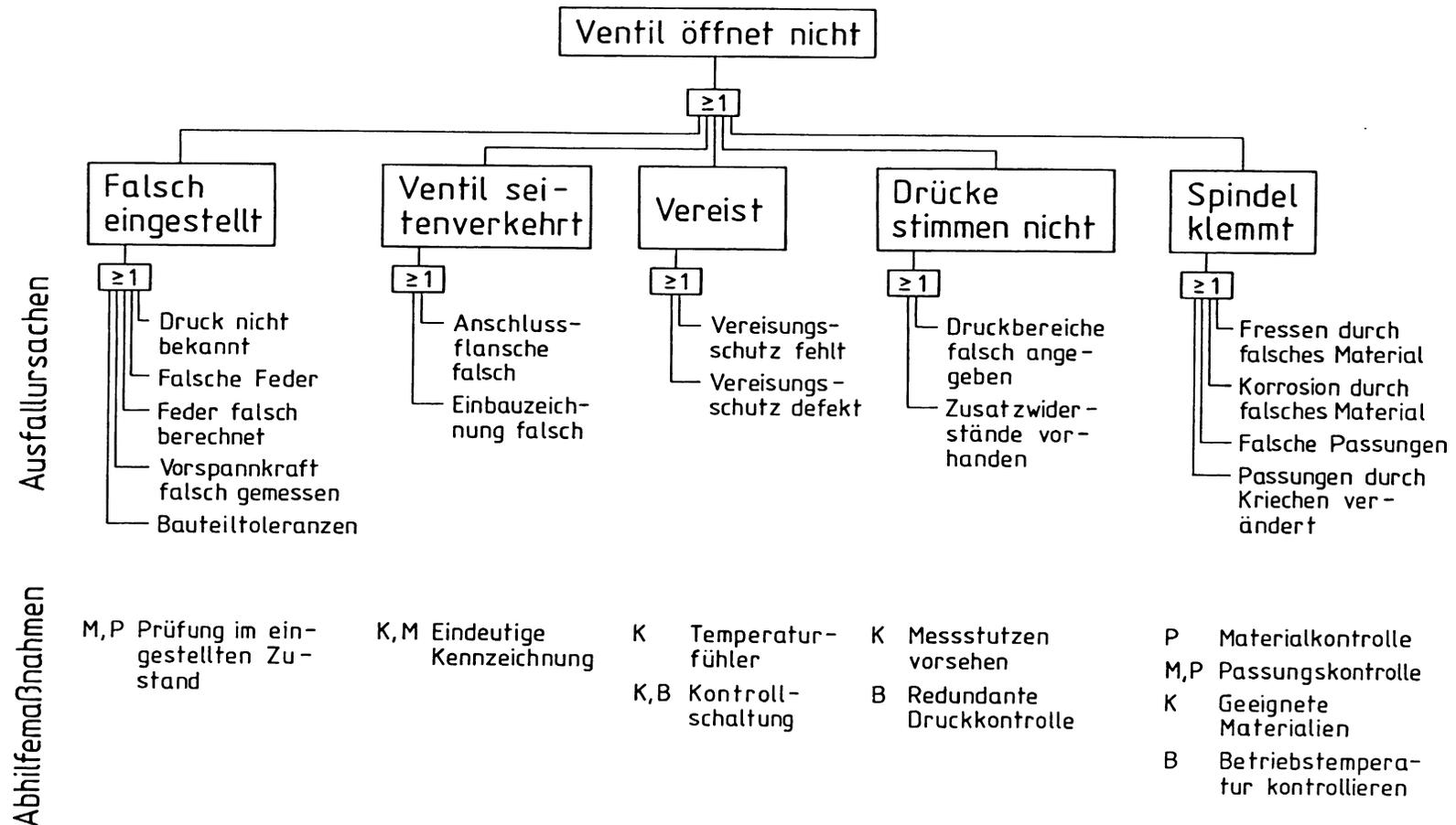
Beispiel: Sicherheits-Abblaseventil für Gasbehälter



Beispiel: Sicherheits-Abblaseventil für Gasbehälter



Beispiel: Sicherheits-Abblaseventil für Gasbehälter

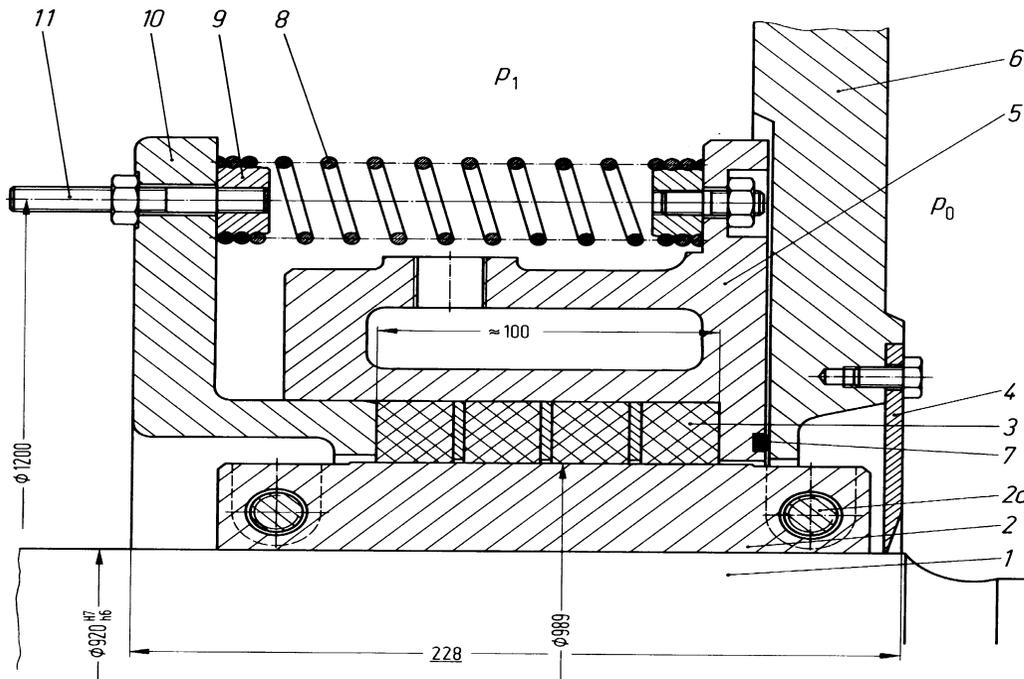


Beispiel: Sicherheits-Abblaseventil für Gasbehälter

1. Ausgabe 1. 9. 73

		<i>Anforderungsliste</i>			
		für Sicherheits - Abblaseventil		Blatt: 1	Seite: 3
Änder.	F W	Pos.	Anforderungen ^{x)}	Verantw.	
1.9.73		22	Ventilteller mit ebener Dichtfläche (kein Ventilkegel)		
"		23	Keine starre Verbindung Ventilteller - Spindel		
"		24	Einfache Möglichkeit Dichtflächen auszubessern oder auszutauschen		
"		25	Hubbegrenzung in definierter Lage		
"		26	Dämpfung der Ventilbewegung		
"	W	27	Aufstellung in verschlossenem, frostgeschütztem Raum (siehe auch DIN 3396 5.22)		
"		28	Keine schleifenden Dichtungen, Reibung vermeiden		
"		29	Eindeutige Einbaustellung erzwingen (z. B. unterschiedliche Flanschgrößen für Ein- und Austritt)		
			x) Forderungen wurden nach Erstellung des Fehlerbaumes und der Gegenmaßnahmen ergänzt.		
			Ersetzt	Ausgabe vom	

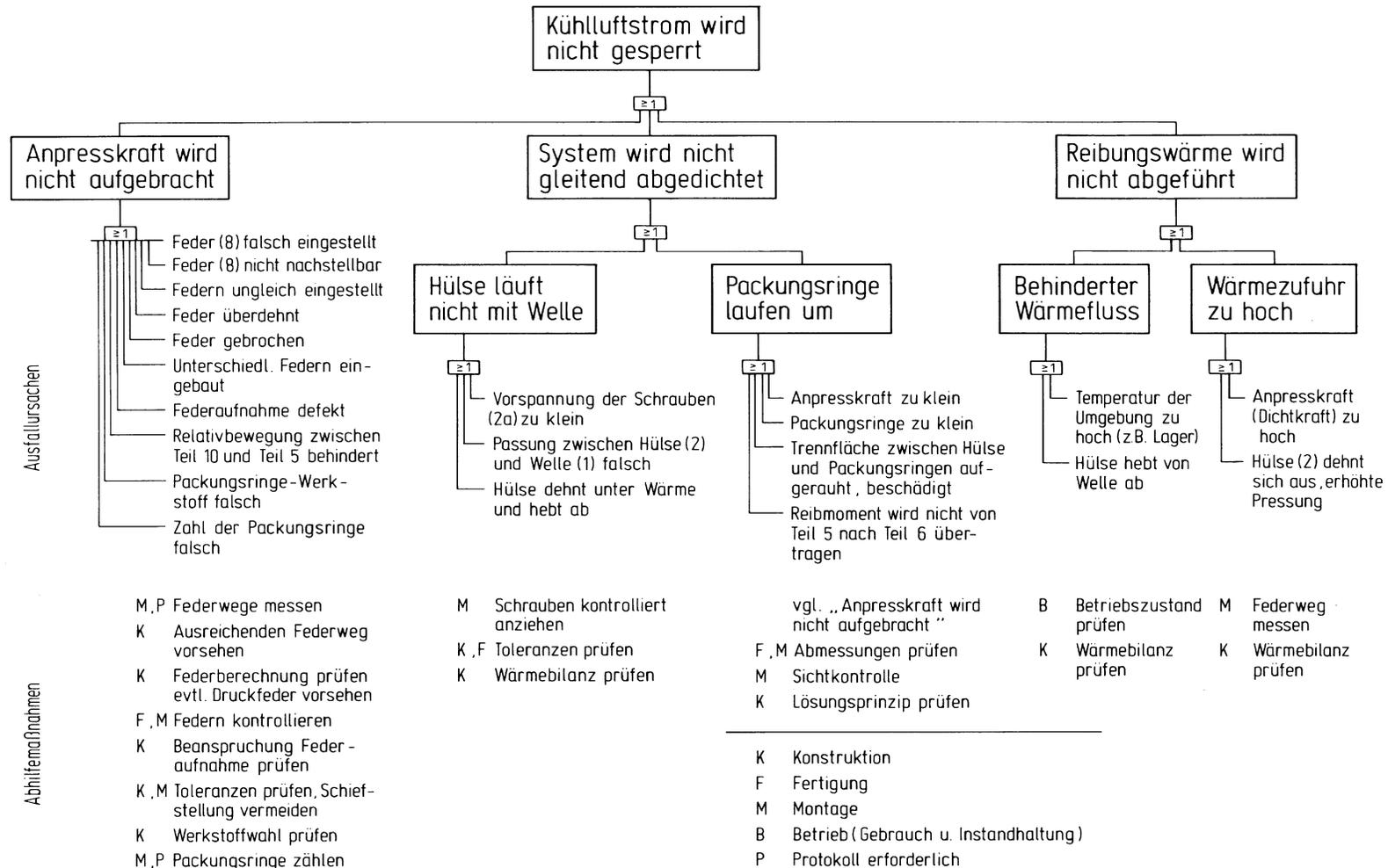
Beispiel: Wellendichtung zum Sperren von Kühlluft



Funktion: Kühlluft sperren

Nr.	Teil	Funktion
1	Welle	Drehmoment übertragen, Hülse aufnehmen, Reibungswärme ableiten
2, 2a	Hülse (2teilig, verschraubt)	Lauf- und Dichtfläche bieten, Welle schützen, Reibungswärme leiten
3	Packungsringe	Medium gleitend abdichten, Anpresskraft aufnehmen und Dichtdruck ausüben
4	Abstreifring	Spritzöl abhalten
5	Stopfbüchsengehäuse	Packungsringe aufnehmen, Anpresskraft aufnehmen und übertragen
6	Gestell	Teile 4 und 5 aufnehmen
7	Runddichtung	Zwischen p_1 und p_0 abdichten
8	Zugfeder	Anpresskraft erzeugen
9	Federaufnahme	Federkraft leiten
10	Spannring	Anpresskraft übertragen, Zugfedern aufnehmen
11	Schraube	Federn einstellbar vorspannen

Beispiel: Wellendichtung zum Sperren von Kühlluft



Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

FMEA

Methode zur systematischen Aufdeckung und zur objektiven Bewertung von Fehlern in der Konstruktion oder im Herstellungsprozess

- **Konstruktions-FMEA**
Prüfen des Gesamtentwurfs auf mögliche Funktionsfehler, Herstellbarkeit und Zuverlässigkeit
- **Prozess-FMEA**
Suchen nach Schwachstellen bei der Fertigung, Montage und Inbetriebnahme noch vor Serienanlauf mit dem Ziel die Prozesssicherheit zu erhöhen
- **System-FMEA**
Kombination aus Konstruktions- und Prozess-FMEA, Bewertung der Schnittstellen zur Umgebung (Systemgrenzen)

Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Ablauf einer FMEA

1. Strukturanalyse: Produktstruktur und die dazugehörigen Systemelemente definieren
2. Funktionsanalyse: Funktionen und Spezifikationen den Systemelementen zuordnen
3. Fehleranalyse: ermittelt der kritischen Komponenten und kritischen Funktionen
4. Risikobewertung: errechnen der **Risikoprioritätszahl $RPZ = B \cdot A \cdot E$** mit den Faktoren **Bedeutung der Fehlerwirkung**, **Auftrittswahrscheinlichkeit** und **Entdeckungswahrscheinlichkeit**
5. Optimierung: Verbesserungen am Produkt wenn **$RPZ > 100$**



B: Bedeutung der Fehlerwirkung		A: Auftretenswahrscheinlichkeit		E: Entdeckungswahrscheinlichkeit	
keine	1	nie	1	immer, funktioneller Fehler	1
vernachlässigbar	2	sehr selten	2	fast immer	2
gering	3	selten	3	sehr oft	3
erkennbar	4	manchmal	4	oft, bei systematischen Tests	4
beträchtlich	5	wiederholt	5	regelmäßig, wird bemerkt	5
bedeutend	6	regelmäßig	6	wiederholt bemerkbar	6
schwerwiegende Störung	7	oft	7	gelegentlich feststellbar	7
gravierend, Reparatur notwendig	8	sehr oft	8	selten, bemerkbar	8
kritisch, Systemausfall	9	fast immer	9	sehr selten, kaum bemerkbar	9
gefährlich, gesetzeswidrig	10	immer	10	nie, verdeckter Fehler	10



FEMA-Formblatt: Beispiel Wellenlagerung

Fehler-Ort/Merkmal	Fehler-Art	Fehler-Auswirkung	Fehler-Ursache	Derzeitiger Zustand				Empfohlene Maßnahmen	Verbesserter Zustand					
				Kontroll-Maßnahmen	A	B	E		RPZ	Getroffene Maßnahmen	A	B	E	RPZ
Welle	Bruch der Welle	Totalausfall	Belastungsart nicht korrekt erkannt		3	10	10	300	Auftretende Belastung durch geeigneten Berechnungsansatz erfassen	Festigkeitsnachweis der Welle	1	10	10	
Lagerung	Spiel in der Lageranordnung	unexakte Funktionserfüllung	Lockern der Wellenmutter im Betrieb (Stoßbeanspruchung)		3	8	10	240	Zusätzliche Sicherung der Wellenmutter		1	8	10	
	Dichtung durchlässig	frühzeitiger Lagerverschleiß	Dichtung genügt nicht den Anforderungen		2	5	10	100	Radialwellendichtring nach DIN verwenden		1	5	10	
Welle-Nabe-Verbindung (Flanschsraubverbindung)	Reibschluß nicht ausreichend	Querbeanspruchung der Schrauben	Auslegungfehler (Nichtberücksichtigung der Reibwerte)		2	6	10	120	Ausreichenden Sicherheitsbeiwert berücksichtigen		1	6	10	
	Passungsgenauigkeit	Fügen nicht möglich bzw. Zentrierung nicht ausreichend	Konstruktionsfehler		2	5	1	10	Toleranzrechnung überprüfen		1	5	1	
	Bruch der Schrauben	Totalausfall	Belastungsart nicht korrekt erkannt		3	10	10	300	Geeigneten Berechnungsansatz für den vorliegenden Belastungsfall verwenden	dynamische Schraubenauslegung	1	10	10	
Kurvenzylinder	Flächenpressung zu groß	Pittings (Grübchen) in der Lauffläche	zu hohe Flächenpressung durch den Hebel		7	8	10	560	Geeignete Werkstoffpaarung Angepaßte Geometrie		2	8	10	

A: Auftreten

B: Bedeutung

E: Entdeckung

RPZ: Risiko-Prioritätszahl

Wahrscheinlichkeit des Auftretens
(Fehler kann vorkommen)

Auswirkungen auf den Kunden

Wahrscheinlichkeit der Entdeckung
(vor Auslieferung an Kunden)

© Prof. Dr. Martin Bothen, Konstr
Quelle: Feldhusen, J., Grote, K.-H

unwahrscheinlich = 1
sehr gering = 2 - 3
gering = 4 - 6
mäßig = 7 - 8

kaum wahrnehmbare Auswirkungen = 1
unbedeutender Fehler (geringe Belästigung des Kunden) = 2 - 3
mäßig schwerer Fehler = 4 - 6
schwerer Fehler (Verärgerung des Kunden) = 7 - 8

hoch = 1
mäßig = 2 - 5
gering = 6 - 8
sehrgering = 9

hoch = 1000
mittel = 125
keine = 1

Risikogerechtes Gestalten

Trotz Fehler- und Störgrößenbeseitigung verbleibt ein **Rest von Unsicherheit**.

Risikobegegnung

durch Ersatzlösungen für den Fall vorsorgen, dass trotz der Fehler-, Störgrößen- und auch Schwachstellenanalyse die realisierte Lösung in einem mit Unsicherheiten behafteten Punkt nicht befriedigen sollte

Risikogerechtes Gestalten

- nachträgliche Umrüstung vorsehen, Teile einstellbar gestalten
 - technisches und wirtschaftliches Risiko in Einklang bringen
 - Erfahrungsgewinn für den Hersteller
 - Zuverlässige Produkte für den Anwender

