

A. L. van der Mooren

# Instandhaltungsgerechtes Konstruieren und Projektieren

Grundlagen, Methoden und Checklisten  
für den Maschinen- und Apparatebau

Mit 142 Abbildungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg NewYork  
London Paris Tokyo  
Hong Kong Barcelona Budapest

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Instandhaltung</b>	<b>1</b>
1	Einführung	3
1.1	Instandhaltung als gesellschaftliche Aufgabe	3
1.2	Entwicklungen in der Industrie	3
1.3	Von der Instandhaltung zur Anlagenwirtschaft	5
1.4	Zielsetzung	6
1.5	Aufbau des Buches	7
2	Problemformulierung	8
2.1	Ausfallen	8
2.1.1	Funktion und Schaden	8
2.1.2	Ausfallarten	9
2.1.3	Ausfallursachen	10
2.1.4	Ausfallfolgen	11
2.2	Instandhalten	11
2.2.1	Instandhaltungsmaßnahmen	11
2.2.2	Instandhaltungskonzept	13
2.2.3	Instandhaltungssystem	15
2.3	Instandhaltungskosten	15
2.4	Beeinflussung der Instandhaltungskosten	17
2.5	Instandhaltung und Konstruktion	19
2.6	Optimierungsziel	20
3	Instandhaltungsverhalten	22
3.1	Ausgangsmodell	22
3.2	Komponentenverhalten	23
3.2.1	Ausfallwahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeit	23
3.2.2	Ausfalldichte und Ausfallrate	24
3.2.3	Präventionsfreiheit	26
3.2.4	Instandhaltbarkeit	27
3.2.5	Abhängigkeiten	28
3.3	Mathematische Darstellung	29
3.3.1	Verteilungsfunktionen	29
3.3.2	Datensammlung	30
3.4	Objektverhalten bis zum ersten Ausfall	32
3.4.1	Zuverlässigkeit	32

3.4.2	Redundanz . . . . .	32
3.5	Erneuerungsobjekte . . . . .	33
3.5.1	Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit . . . . .	33
3.5.2	Ausfallhäufigkeit und Verfügbarkeit . . . . .	34
3.6	Reparaturobjekte . . . . .	34
4	Instandhaltungskonzept . . . . .	36
4.1	Instandhaltungsstrategien . . . . .	36
4.2	Zustandsverlauf . . . . .	36
4.3	Ausfallbedingte Instandsetzung . . . . .	38
4.4	Präventive Instandsetzung . . . . .	38
4.4.1	Intervallbedingte Instandsetzung . . . . .	38
4.4.2	Zustandsbedingte Instandsetzung . . . . .	39
4.5	Kombinierte Instandhaltungsstrategien . . . . .	41
4.6	Optimierung . . . . .	42
4.6.1	Berechnungsmodell . . . . .	42
4.6.2	Berechnungsmethoden . . . . .	43
<b>II</b>	<b>Instandhaltungsgerechtes Konstruieren . . . . .</b>	<b>47</b>
5	Konstruieren . . . . .	49
5.1	Konstruktionsprozeß . . . . .	49
5.2	Konstruktionsdefinition . . . . .	50
5.2.1	Systemaufbau . . . . .	50
5.2.2	Arbeitsweise . . . . .	52
5.2.3	Bauweise . . . . .	53
5.2.4	Konstruktionsparameter . . . . .	53
5.2.5	Konkretisierungsprozeß . . . . .	55
5.3	Methodisches Konstruieren . . . . .	55
5.3.1	Prozeßstrukturierung . . . . .	55
5.3.2	Konstruktionsphasen . . . . .	57
5.3.3	Arbeitsschritte . . . . .	60
5.3.4	Arbeitsmethoden und Hilfsmittel . . . . .	61
5.4	Instandhaltungsgerechtes Konstruieren . . . . .	62
5.4.1	Ziel . . . . .	62
5.4.2	Lösungsfelder . . . . .	64
5.4.3	Checklisten . . . . .	65
5.4.4	Literatur . . . . .	66
5.5	Vorgehensweise . . . . .	67
6	Instandhaltungsgerechtigkeit fördern . . . . .	69
6.1	Lösungsfeld . . . . .	69
6.2	Instandhaltungsgerechte Gestaltung . . . . .	70
6.2.1	Konstruktion vereinfachen . . . . .	70
6.2.2	Genormte Komponenten verwenden . . . . .	73
6.2.3	Zugänglichkeit fördern . . . . .	74
6.2.4	Zerlegbarkeit fördern . . . . .	75

6.2.5	Modulare Bauweise anwenden . . . . .	76
6.3	Instandhaltungsgerechtes Verhalten . . . . .	78
6.3.1	Fehlerbeständigkeit fördern . . . . .	78
6.3.2	Schadensbeständigkeit fördern . . . . .	79
6.3.3	Inspektionsmöglichkeit fördern . . . . .	82
6.3.4	Selbsthilfe anwenden . . . . .	85
6.3.5	Instandhaltungsanleitung mitgeben . . . . .	86
6.4	Beispiel . . . . .	88
7	Instandhaltungsanalyse . . . . .	89
7.1	Zweck und Aufbau . . . . .	89
7.2	Bewertungsskalen . . . . .	90
7.3	Checklistenanalyse . . . . .	92
7.3.1	Bewertungskriterien . . . . .	92
7.3.2	Ordinale Skala . . . . .	92
7.3.3	Ratioskala . . . . .	93
7.4	Verhaltensanalyse . . . . .	95
7.4.1	Aufbau . . . . .	95
7.4.2	Durchführung . . . . .	95
7.4.3	Verhaltensprofil . . . . .	96
7.5	Kostenanalyse . . . . .	97
7.6	Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	99
8	Präventionsfreiheit fördern . . . . .	101
8.1	Maßnahmen . . . . .	101
8.2	Lösungsfeld . . . . .	102
8.3	Nachfüllen . . . . .	104
8.4	Schmieren . . . . .	105
8.5	Konservieren . . . . .	106
8.6	Nachstellen . . . . .	107
8.7	Reinigen . . . . .	108
9	Zuverlässigkeit fördern . . . . .	110
9.1	Belastungen . . . . .	110
9.2	Lösungsfeld . . . . .	112
9.3	Exogene Belastungen des Objektes senken . . . . .	114
9.4	Exogene Belastungen der Komponenten senken . . . . .	115
9.5	Belastbarkeit der Komponenten steigern . . . . .	116
9.6	Endogene Belastungen der Komponenten senken . . . . .	117
9.7	Fehlstruktur des Objektes verbessern . . . . .	119
9.8	Belastbarkeit von Einzelteilen steigern . . . . .	120
10	Instandhaltbarkeit fördern . . . . .	124
10.1	Instandhaltungsmittel . . . . .	124
10.1.1	Anpassung . . . . .	124
10.1.2	Personelle Mittel . . . . .	124
10.1.3	Materielle Mittel . . . . .	125

10.1.4 Methoden und Daten . . . . .	125
10.2 Arbeitsumstände . . . . .	126
10.3 Lösungsfeld . . . . .	127
10.4 Wahrnehmbarkeit verbessern . . . . .	129
10.5 Durchschaubarkeit verbessern . . . . .	129
10.6 Lokalisierbarkeit von Schäden verbessern . . . . .	131
10.7 Erreichbarkeit fördern . . . . .	132
10.8 Auswechselbarkeit fördern . . . . .	134
10.9 Bearbeitungsmöglichkeit fördern . . . . .	135
11 Konstruktionsoptimierung . . . . .	138
11.1 Konstruktionsstrategie . . . . .	138
11.2 Technische Abwägungen . . . . .	139
11.3 Technisch-wirtschaftliche Abwägungen . . . . .	140
11.3.1 Entscheidungskriterien . . . . .	140
11.3.2 Bewertungsfeld . . . . .	144
11.4 Vorgehensweise . . . . .	145
<b>III Instandhaltungsgerechtes Projektieren . . . . .</b>	<b>149</b>
12 Anforderungsliste . . . . .	151
12.1 Ziel und Vorgehen . . . . .	151
12.2 Formulierung . . . . .	152
12.3 Aufbau . . . . .	154
12.4 Allgemeine Instandhaltungsanforderungen . . . . .	155
12.5 Besondere Instandhaltungsanforderungen . . . . .	159
13 Konzept . . . . .	162
13.1 Beeinflussung der Instandhaltungskosten . . . . .	162
13.2 Arbeitsweise . . . . .	163
13.2.1 Konstruktionsparameter . . . . .	163
13.2.2 Arbeitsprinzip . . . . .	164
13.2.3 Funktionsstruktur . . . . .	167
13.3 Bauweise . . . . .	168
13.3.1 Konstruktionsparameter . . . . .	168
13.3.2 Bauprinzip . . . . .	169
13.3.3 Zahl und Hauptabmessungen . . . . .	169
13.3.4 Baustruktur . . . . .	170
13.4 Funktionszuteilung . . . . .	170
13.4.1 Möglichkeiten . . . . .	170
13.4.2 Redundanz . . . . .	173
13.5 Modularer Aufbau . . . . .	174
14 Organisatorische Voraussetzungen . . . . .	176
14.1 Instandhaltungsgerechtes Investieren . . . . .	176
14.2 Spannungsfeld Kunde – Lieferant . . . . .	178
14.3 Rückkopplung durch Zusammenarbeit . . . . .	180

14.4 Rolle des Managements . . . . .	183
14.5 Kosten und Nutzen . . . . .	184
<b>Anhang . . . . .</b>	<b>187</b>
Checklisten . . . . .	189
Ziel . . . . .	189
Aufbau . . . . .	190
Anwendung . . . . .	190
Universalcheckliste 1: Projekt (Kap. 14) . . . . .	191
Universalcheckliste 2: Anforderungsliste (Kap. 12) . . . . .	192
Universalcheckliste 3: Konzept (Kap. 13) . . . . .	194
Universalcheckliste 4: Instandhaltungsgerechtigkeit (Kap. 6) . . . . .	195
Universalcheckliste 5: Präventionsfreiheit (Kap. 8) . . . . .	198
Universalcheckliste 6: Zuverlässigkeit (Kap. 9) . . . . .	199
Universalcheckliste 7: Instandhaltbarkeit (Kap. 10) . . . . .	202
Spezialcheckliste: Kreiselpumpe . . . . .	206
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>212</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>215</b>