

## Inhalt

<b>1 Einführung und Beispielsysteme</b>	<b>1</b>
1.1 Was ist Mechatronik?	1
1.2 Beispiele für typische Mechatronik-Systeme	7
1.2.1 Elektronische Waage- Stromkompensation	7
1.2.2 Aktiver Fahrzeugsitz für LKW-Fahrer	15
<b>2 Mechanische Systeme</b>	<b>19</b>
2.1 Strukturdynamik	19
2.1.1 Einleitung	19
2.1.2 Methode der finiten Elemente, Diskretisierung der Struktur	21
2.1.2.1 Beispiel: Ermittlung der Elementmatrizen für den Bernoulli-Balken	24
2.1.2.2 Berücksichtigung der Dämpfung	27
2.1.2.3 Eigenschaften der Systemmatrizen	29
2.1.3 Beurteilung des Systemverhaltens	30
2.1.3.1 Eigenverhalten	31
2.1.3.2 Übertragungsverhalten	34
2.1.3.3 Beispiel	41
2.1.4 Literatur	53
2.2 Zustandsraumdarstellung mechanischer Systeme	55
2.2.1 Einleitung	55
2.2.1.1 Eigenschaften und Motivation	55
2.2.1.2 Formulierung	56
2.2.1.3 Beispiel: Verknüpfung von Zustandsraumsystemen	58
2.2.2 Zustandsraumdarstellung in physikalischen Koordinaten	60
2.2.3 Modale Zustandsraumdarstellung	62
2.2.3.1 Definition	62
2.2.3.2 Beziehung zur modalen Bewegungsgleichung	64
2.2.4 Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	66
2.2.4.1 Steuerbarkeits-Gramian	67
2.2.4.2 Beobachtbarkeits-Gramian	67

---

2.2.4.3	Hankelsche Singulärwerte .....	68
2.2.5	Modellreduktion .....	68
2.2.5.1	Reduktion durch modales Abschneiden .....	69
2.2.5.2	Reduktion nach Steuer- und Beobachtbarkeit .....	70
2.2.6	Literatur .....	72
2.3	Nicht-lineare Systeme .....	73
2.3.1	Einführung .....	73
2.3.2	Ursachen von Nicht-Linearitäten .....	77
2.3.2.1	Material Nicht-Linearität .....	77
2.3.2.2	Geometrische Nicht-Linearität .....	84
2.3.2.3	Nicht-lineare Randbedingungen .....	93
2.3.3	Rechnerische Behandlung der Nicht-Linearitäten .....	99
2.3.3.1	Linearisierung .....	100
2.3.3.2	Berechnung der Zeitantwort nicht-linearer Systeme .....	100
2.3.4	Beispiele typischer Berechnungsszenarien .....	108
2.3.4.1	Ermittlung einer Kennlinie/eines Kennfeldes .....	108
2.3.4.2	Lineares Verhalten um einen nicht-linearen Arbeitspunkt .....	110
2.3.4.3	Systeme mit lokalen Nicht-Linearitäten .....	112
2.3.4.4	Global nicht-lineare Systeme .....	114
2.3.5	Literatur .....	116
2.4	Identifikation (Experimentelle Modellbildung) .....	117
2.4.1	Übersicht .....	117
2.4.2	Beispiele zur Identifikation aus dem Bereich der Mechanik und der Elektrotechnik .....	121
2.4.3	Fehlerkriterien .....	126
2.4.4	Methode der kleinsten Fehlerquadrate .....	128
<b>3</b>	<b>Regelung mechanischer Systeme</b> .....	<b>135</b>
3.1	Einleitung .....	135
3.2	Regelung starrer Körper .....	137
3.2.1	Übertragungsfunktionen des geschlossenen Regelkreises .....	141
3.2.2	Störübertragungsfunktion .....	142

---

3.2.3	Empfindlichkeitsfunktion .....	145
3.2.4	Führungsübertragungsfunktion .....	146
3.2.5	Stellübertragungsfunktion .....	150
3.3	Mehrgrößenregelung.....	152
3.3.1	Einleitung .....	152
3.3.2	Darstellungsformen für Mehrgrößensysteme .....	157
3.3.3	Dezentrale Regelung .....	159
3.3.4	Mehrgrößenregelung durch Entkopplung .....	165
3.3.5	Zentrale Regelung .....	169
3.4	Wechselwirkung mit der mechanischen Struktur .....	169
3.4.1	Pole und Nullstellen .....	170
3.4.2	Kollokation von Sensor und Aktor .....	176
3.4.3	Erweiterung der Reglerstruktur um Filter .....	179
3.5	Zusammenfassung .....	180
3.6	Modellbasierte Reglersynthese.....	180
3.7	Literatur .....	183
<b>4</b>	<b>Signale</b> .....	<b>185</b>
4.1	Vorbemerkung.....	185
4.2	Was bedeutet Messen ? - Das Einheitensystem .....	185
4.3	Das idealisierte Meßsystem.....	186
4.3.1	Die Meßkette .....	187
4.4	Grundbegriffe aus der Meßtechnik.....	188
4.5	Meßprinzipien, Meßverfahren, Meßmethoden .....	190
4.5.1	Beispiel: Messung magnetischer Feldstärke .....	190
4.6	Das fehlerbehaftete Meßsystem.....	191
4.6.1	Fehlerquellen .....	191
4.6.1.1	Beispiel: Spannungs- bzw. Strommessung .....	192
4.6.2	Statische Meßabweichungen .....	193
4.7	Störungen des Meßvorgangs.....	194
4.7.1	Kopplungsmechanismen .....	196
4.8	Dynamische Eigenschaften eines Meßsystems .....	203

---

4.8.1	Filterung .....	203
4.8.2	Beschreibungsmittel für Signale im Zeit- und Frequenzbereich .....	206
4.8.2.1	Stochastische Signale .....	206
4.8.2.2	Beispiel: .....	207
4.8.2.3	Periodische Signale .....	207
4.8.2.4	Impulsreihen .....	207
4.8.2.5	Aperiodische Signale .....	209
4.8.3	Übertragungsverhalten eines Meßsystems .....	209
4.8.4	Übertragungsfunktion und Frequenzgang .....	211
4.8.4.1	Beispiel: .....	212
4.8.5	Fundamentale Meßsysteme .....	213
4.9	Hardware zur Signalverarbeitung und Regelung .....	215
4.9.1	Speicher .....	219
4.9.2	Prozessor (CPU) .....	220
4.9.3	Bussysteme .....	226
4.9.4	Auswahlkriterien .....	234
4.9.5	Echtzeitprozesse .....	239
4.9.6	Zeitdiskretisierung .....	243
4.9.7	Reglerumsetzung .....	245
4.9.8	Analog/Digital Wandlung .....	252
4.10	Literatur .....	255