

Dipl.-Ing. Dagmar Meyer, Baiersdorf

**Vergleich klassischer und
moderner Regelverfahren
am Beispiel einer
Schachtförderanlage**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Nr. **551**

Inhalt

1	Übersicht.....	1
2	Einleitung.....	3
3	Dynamisches Modell einer Förderanlage	5
3.1	Konstruktiver Aufbau.....	5
3.2	Beschreibung der Seildynamik	6
3.2.1	Vergleich verschiedener Modellansätze	9
3.3	Vereinfachtes Streckenmodell.....	11
3.3.1	Differentialgleichungen	11
3.3.2	Lagerreibung.....	12
3.3.3	Berechnung der arbeitspunktabhängigen Koeffizienten.....	12
3.4	Übertragungsverhalten	13
4	Labornachbildung der Förderanlage	16
4.1	Versuchsaufbau	16
4.2	Lastsimulation.....	18
4.2.1	Anpassung des Streckenmodells an den Versuchsantrieb	18
4.2.2	Numerische Integration der Differentialgleichungen	21
4.2.3	Vergleich Antriebsstrecke - Simulation	22
4.3	Rechnersystem.....	23
5	Identifizierung eines Streckenmodells	25
5.1	Wahl eines geeigneten Anregungssignals	25
5.2	Identifikationsverfahren	30
5.2.1	Methode der kleinsten Fehlerquadrate.....	30
5.2.2	Identifizierung mit gestörtem Ausgangssignal.....	32
5.2.3	Ergebnisse	33
6	Entwurf robuster Regelungen.....	35
6.1	Struktur der H_2 -Entwurfsaufgabe	35
6.2	Grundlagen des H_∞ -optimalen Reglers.....	36
6.2.1	Beschreibung der Anforderungen durch die H_∞ -Norm.....	36
6.2.2	Entwurfsziele.....	38
6.2.2.1	Regelfehler	39
6.2.2.2	Stellgröße	40
6.2.2.3	Robustheit.....	40

6.2.3	Wichtungsfunktionen	42
6.2.3.1	Wichtung der Stellgröße	43
6.2.3.2	Unterdrückung von Meßwertstörungen	46
6.2.3.3	Wichtung der Regelabweichung	47
6.2.3.4	Auslegung auf Störverhalten	49
6.2.4	Struktur der Entwurfsaufgabe	49
6.3	Berechnung und Struktur des Reglers	51
6.3.1	Berechnung des H_2 -optimalen Reglers	52
6.3.2	Berechnung des H_∞ -optimalen Reglers	53
6.4	Regelung der Schachtförderanlage	54
6.4.1	Realisierte Regelkonzepte	55
6.4.2	Robustheitsanforderungen	57
6.4.3	Kaskadenregelung	59
6.4.4	Lageregelung mit Vorsteuerung durch »inverses Modell«	62
6.5	Bewertung der Ergebnisse	65
7	Entwurf einer Fuzzy-Regelung	67
7.1	Fuzzy Control: Grundlagen	67
7.1.1	Unscharfe Mengen	67
7.1.2	Linguistische Aussagen und Fuzzy-Operatoren	68
7.1.3	Linguistische Regeln	70
7.1.4	Anwendung der Fuzzy-Logik im Fuzzy-Regler	70
7.2	Fuzzy-PI-Drehzahlregelung	74
7.3	Fuzzy-Kaskade ohne Führungsgrößengenerator	75
7.3.1	Drehzahlregler	76
7.3.2	Lageregler	80
7.3.3	Bestimmung der Skalierungsfaktoren	84
7.3.4	Regelverhalten der Fuzzy-Kaskade	85
7.4	Bewertung	88
7.5	Ausblick: Selbstorganisierender Fuzzy-Regler	89
7.5.1	Beschreibung des Lernalgorithmus	90
7.5.2	Die Gütebewertung	92
7.5.3	Das inverse Modell	93
7.5.4	Der Regel-Modifizierer	94
7.5.5	Lernverhalten des SOFLC	95
8	PID-Kaskadenregelung	97
8.1	Regleroptimierung	97
8.1.1	Vorgabe des Störverhaltens	98
8.1.2	Wahl des Gütefunktional	99
8.1.3	Ergebnisse der Regleroptimierung	100

8.2	Differenzdrehzahlaufschaltung	103
	8.2.1 Bestimmung der Aufschaltungskoeffizienten	103
	8.2.1.1 Dämpfungsvorgabe	104
	8.2.1.2 Verlust der Beobachtbarkeit an bestimmten Arbeitspunkten	105
	8.2.2 Realisierung der Aufschaltung mittels Fuzzy-Logik	108
	8.2.3 Einfluß der Aufschaltung auf das Regelverhalten	111
8.3	Kalman-Filter zur Geschwindigkeitsschätzung	113
	8.3.1 Beschreibung des Filteralgorithmus	114
	8.3.2 Diskretisierung der kontinuierlichen Systemgleichungen	117
	8.3.3 Kovarianz- und Empfindlichkeitsanalyse	118
9	Zusammenfassung	123
10	Anhang	125
	10.1 Streckenparameter der Schachtförderanlage	125
	10.2 Koeffizienten der Differenzdrehzahlaufschaltung	126
11	Literaturverzeichnis	127