

FORTSCHRITT-
BERICHTE

VDI

Dipl.-Ing. Marc Steckling, Berlin

**Lageregelung im
Bogensekundenbereich
am Beispiel des Mikro-
satelliten DLR-TUBSAT**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik Nr. **700**

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
2 STAND DER TECHNIK.....	4
2.1 GROBSATELLITENPROJEKTE	4
2.2 PROJEKTSTUDIEN KLEINSATELLITEN	4
2.3 KLEIN- UND MIKROSATELLITENPROJEKTE	5
3 BASIS-LAGEREGELUNGSSYSTEM.....	7
3.1 STERNSENSOR	8
3.2 REAKTIONSRÄDER	9
3.3 FASEROPTISCHE LASERKREISEL	14
3.4 RAD/KREISEL-PÄRCHEN	16
3.5 MAGNETOMETER	21
3.6 MAGNETORQUER	23
4 HOCHAUFLÖSENDE SENSORIK.....	24
4.1 ÜBERSICHT	24
4.2 KONZEPTION DER SENSORIK	27
4.2.1 CCD-Element.....	28
4.2.2 Kameraelektronik	29
4.2.3 Auswertelektronik.....	32
4.2.4 Modifikation Kameraelektronik / optische Köpfe.....	33
4.3 AUSWAHL / KONZEPTION DER OPTIK	34
4.3.1 16 mm Objektiv.....	34
4.3.2 50 mm Objektiv.....	34
4.3.3 1000 mm Objektiv.....	35
4.4 VIBRATIONSBELASTUNG DES KAMERASYSTEMS	36
4.5 KAMERAPLATTFORM.....	39
4.6 VERMESSUNG UND KALIBRATION DER KAMERAPLATTFORM	45
4.6.1 Kennwerte der Optiken.....	46
4.6.2 Kalibration der Schärfe.....	48
4.6.3 Geometrische Kalibration	52
4.6.4 Alignment.....	54
4.6.5 Vergleich Luft / Vakuum.....	55
4.7 MESSGRÖßENAUFBEREITUNG.....	56
4.8 ABSCHLUBBETRACHTUNG HOCHAUFLÖSENDE SENSORIK	62
5 HOCHGENAUE LAGEREGELUNG	63
5.1 BESCHREIBUNG DER LAGE.....	64
5.1.1 Euler Winkel	66
5.1.2 Euler Parameter	73
5.1.3 Vergleich Euler Winkel / Euler Parameter.....	74

5.2	REGELKREISE UND LAGEREGELUNGSSTRATEGIEN	75
5.2.1	<i>Regelstrecke Satellit</i>	76
5.2.2	<i>Vorgehensweisen der Regleruntersuchung und Reglerauslegung</i>	78
5.2.3	<i>Standardregelkreise</i>	81
5.2.3.1	PD-Regler	82
5.2.3.2	PID-Regler	84
5.2.3.3	Vergleich PD-Regler / PID-Regler	90
5.2.3.4	Anpassung und Optimierung des PID-Reglers bezüglich der Regelstrecke	91
5.2.3.5	Verifikation der Optimierungsergeb. des PID-Reglers auf dem Gaslager	97
5.2.4	<i>„Intelligenter“ Regelkreis: ADB-FF</i>	100
5.2.4.1	ADB Omega-Loop	101
5.2.4.2	ADB Phi-Loop	101
5.2.4.3	Anpassung und Optimierung des ADB-Reglers bezüglich der Strecke	103
5.2.4.4	Vergleich ADB-Regler / PID-Regler	104
5.2.4.5	ADB-FF: ADB-Regler mit Führungsgrößenaufschaltung	105
5.2.4.6	Verifikation der Optimierungsergeb. des ADB-Reglers auf dem Gaslager ...	108
5.3	NACHWEIS DER LAGEREGELUNGSGENAUIGKEIT IM BOGENSEKUNDENBEREICH	112
5.3.1	<i>Interpretation und Extrapolation der Meßergebnisse</i>	115
5.4	PRINZIP DER FELDORIENTIERTEN REGELUNG	120
5.5	ABSCHLUBBETRACHTUNG HOCHGENAUE LAGEREGELUNG	122
6	DAS GESAMTSYSTEM SATELLIT	123
6.1	ENERGIEVERSORGUNG	127
6.1.1	<i>Akkumulatoren</i>	127
6.1.2	<i>Solarzellen</i>	127
6.1.3	<i>Power Control Unit (PCU)</i>	128
6.1.4	<i>Power Budget</i>	130
6.2	DATENÜBERTRAGUNG SATELLIT / BODENSTATION	133
6.2.1	<i>Telemetry and Telecommand Unit (TTC)</i>	133
6.2.2	<i>S-Band Strecke</i>	136
6.3	BORDRECHNER	138
6.4	STRUKTUR	140
6.4.1	<i>Statische Berechnung</i>	141
6.4.2	<i>Dynamische Berechnung</i>	142
6.4.3	<i>Ergebnisse der statischen / dynamischen Berechnung</i>	143
6.5	AUSSTOßMECHANISMUS	144
6.6	THERMALHAUSHALT	148
7	SATELLITENBUDGETS	151
7.1	MASSENBUDGET UND TRÄGHEITSCHARAKTERISTIK	151
7.1.1	<i>Massenbudget und Schwerpunkt Gesamtsystem</i>	151
7.1.2	<i>Massenbudget Subsysteme</i>	151
7.1.3	<i>Massenträgheitsmoment Gesamtsystem</i>	151
7.2	POWER BUDGET	152
7.3	LINK BUDGET	153

8 ZUSAMMENFASSUNG	154
9 BILDANHANG	157
10 LITERATURVERZEICHNIS.....	162