

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Regelungstechnische Herausforderungen am ELT	3
1.1.1	Störungsquellen	5
1.1.2	Redundante Korrekturspiegel	7
1.1.3	Beschränkungen der Korrekturspiegel	8
1.1.4	Veränderungen im METIS-SCAO-System	9
1.2	Ziele und Struktur der Arbeit	10
1.2.1	Modellierung des SCAO-Systems	10
1.2.2	Entwicklung der SCAO-Regelung	11
2	ELT und METIS	13
2.1	ELT	13
2.2	METIS	17
2.3	METIS-SCAO-System	20
2.3.1	Funktionsprinzip	21
2.3.2	Deformierbarer Spiegel M4	22
2.3.3	Kippspiegel M5	25
2.3.4	METIS-Pyramiden-Wellenfrontsensor	26
3	Modellierung des METIS-SCAO-Systems	29
3.1	Deformierbarer Spiegel M4	29
3.1.1	Stand der Forschung und Technik	30
3.1.2	Verteiltparametrische Modellierung	32
3.1.2.1	Kirchhoff-Platte	33
3.1.2.2	Randbedingungen	35
3.1.3	Modalanalyse	37
3.1.3.1	Finite-Differenzen-Approximation	38
3.1.3.2	Finite-Elemente-Approximation	42
3.1.3.3	Vergleich der Modalanalyse-Ergebnisse	44
3.1.4	Bestimmung des nutzbaren Modensatzes	50
3.1.4.1	Abtasttheorem	51
3.1.4.2	Modale Verkopplung	51
3.1.4.3	Plattenmodulationsfehler	53
3.1.4.4	Nutzbarer Modensatz	58
3.1.5	Räumlich-zeitliches Gesamtmodell	60

3.2	Kippspiegel M5	63
3.2.1	Stand der Forschung und Technik	64
3.2.2	Modellierung	65
3.3	METIS-Pyramiden-Wellenfrontsensor	66
3.3.1	Stand der Forschung und Technik	67
3.3.2	Modellierung	68
3.4	Simulation des METIS-SCAO-Systems	70
3.4.1	Simulationsumgebung	71
3.4.2	Simulationsauswertung	72
3.5	Zusammenfassung	73
4	METIS-SCAO-Regelung	75
4.1	Entwicklung des METIS-SCAO-Reglers	75
4.1.1	Stand der Forschung und Technik	76
4.1.2	Regelungskonzept	78
4.1.3	Regler-Komponenten	80
4.1.3.1	Tip-Tilt-Extraktion	80
4.1.3.2	Tip-Tilt-Regelung	81
4.1.3.3	Regelung für höhere Regelfehler	84
4.1.4	Simulationsergebnisse	84
4.1.4.1	Ergebnisse mit windinduzierten Vibrationen	85
4.1.4.2	Ergebnisse mit M4-Aktorausfällen	89
4.1.5	Alternative Regelungskonzepte	93
4.2	Berücksichtigung der M4-Beschränkungen	96
4.2.1	Stand der Forschung und Technik	97
4.2.2	Grundlagen des STEG	99
4.2.2.1	Definitionen und Notation	100
4.2.2.2	Funktionsprinzip	102
4.2.3	Algorithmen für den STEG	103
4.2.3.1	Optimierungsbasierter Algorithmus	103
4.2.3.2	Iterativ-heuristischer Algorithmus	107
4.2.3.3	Skalierend-heuristischer Algorithmus	116
4.2.3.4	Charakteristiken	117
4.2.4	Simulationsergebnisse	118
4.2.4.1	Ergebnisse des autonomen STEG	119
4.2.4.2	Ergebnisse des METIS-SCAO-Systems	120
4.3	Adaptive Erweiterung des METIS-SCAO-Reglers	126
4.3.1	Stand der Forschung und Technik	126
4.3.2	Konzept	129
4.3.2.1	Ziele und Auswahl	129
4.3.2.2	Funktionsprinzip	130
4.3.3	Komponenten der Erweiterung	131

4.3.4	Simulationsergebnisse	137
4.4	Zusammenfassung	144
5	Störgrößenaufschaltungen für die METIS-SCAO-Regelung	147
5.1	Aufschaltung von Vibrations-Störungen	148
5.1.1	Stand der Forschung und Technik	148
5.1.2	Konzept	150
5.1.2.1	Ziele und Auswahl	150
5.1.2.2	Funktionsprinzip	152
5.1.3	Realisierung	154
5.1.4	Simulationsergebnisse	158
5.2	Aufschaltung von atmosphärischen Störungen	164
5.2.1	Stand der Forschung und Technik	165
5.2.2	Konzept	167
5.2.3	Realisierung	169
5.2.4	Simulative Anwendung	170
5.3	Zusammenfassung	172
6	Zusammenfassung und Ausblick	173
A	Zernike-Moden	177
B	Invarianz von Platten-Eigenmoden bezüglich Rayleigh-Dämpfung	181
C	M4-Modalanalyse mittels polarem Separationsansatz	185
D	Zusätzliche Ergebnisse der M4-Eigenmoden	189
E	Regressionsbasierte Transformation	201
	Abkürzungen	206
	Symbolverzeichnis	207
	Abbildungsverzeichnis	219
	Tabellenverzeichnis	223
	Literaturverzeichnis	225