

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Die Modulationstransferfunktion (MTF)	5
2.1. Theorie der Modulationstransferfunktion	8
2.1.1. Die optische Übertragungsfunktion (OTF)	8
2.1.2. Bedingungen an die Linearität	10
2.1.3. Beugungsbegrenzte MTF	11
2.1.4. MTF mit Defokus	12
2.1.5. Kaskadeneigenschaften der MTF	13
2.2. Stand der Technik zur Messung der MTF von Objektiven	14
2.2.1. Messung der Intensitätsverteilung in der Bildebene	15
2.2.2. Vergleich mit anderen Messprinzipien	20
2.2.3. Abhängigkeit der MTF von den Testbedingungen	21
2.3. Einflüsse auf die Messunsicherheit	23
2.3.1. Definitionen in der Metrologie	24
2.3.2. Einflussfaktoren und Gesamtunsicherheit	25
2.3.3. Herausforderungen bei der Bestimmung der Messunsicherheit	30
3. Forschungshypothesen	32
4. Entwicklung der Referenzanlage	34
4.1. Spezifikationen der Anlage	34
4.1.1. Allgemeine Konstruktion und Messkonfiguration	35
4.1.2. Objekteinheit	37
4.1.3. Kollimator	44
4.1.4. Prüflingshalter	46
4.1.5. Bewegungseinheit	47
4.1.6. Detektor	53
4.2. Justage	56
4.3. Ansteuerung	61
4.3.1. Kameradetektion	61
4.3.2. Scannende Detektion	63

4.4. Auswertealgorithmen	64
4.4.1. Untergrundkorrektur	65
4.4.2. Fourier-Transformation	66
4.4.3. Korrektur mit der Spaltbreite	66
5. Vergleichsmessungen und Stabilität	68
5.1. Messungen einer SIRA Testlinse	68
5.2. Messungen eines Kalibrierobjektivs	71
5.3. Stabilität der Messungen	74
5.4. Bewertung der Ergebnisse	78
6. Optomechanische virtuelle Experimente	80
6.1. Simulation mit SimOptDevice	81
6.1.1. Berechnung der MTF	83
6.1.2. Fokuspunktermittlung	85
6.1.3. Sensitivitätsanalysen	86
6.1.4. Beispielprüflinge	88
6.2. Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen	90
6.2.1. Variation einzelner Parameter	90
6.2.2. Studien auf der Achse	93
6.2.3. Studien im Feld	98
6.3. Vergleich der Simulationen mit Messergebnissen	101
6.4. Bewertung der virtuellen Experimente und Bestätigung der ersten Forschungshypothese	109
7. Einfluss der Detektion und Auswertung auf die MTF	112
7.1. Notwendige Abtastlänge der Linienspreizfunktion	112
7.1.1. Simulation der Linienspreizfunktion	113
7.1.2. Einfluss der Abtastlänge auf die MTF	115
7.1.3. Einfluss der Abbildungsqualität auf die notwendige Abtastlänge .	117
7.2. Kameradetektion	119
7.2.1. Simulation des Kamerabildes	119
7.2.2. Einfluss der Bittiefe	124
7.2.3. Einfluss des Rauschverhaltens	125
7.2.4. Einfluss der Untergrundkorrektur und der Abtastlänge	130

7.2.5. Einfluss des Zero-paddings	133
7.2.6. Stabilität der MTF	136
7.2.7. Abschätzung der absoluten Fehlergröße	137
7.3. Bewertung der Ergebnisse und Bestätigung der zweiten Forschungshypothese	140
8. Zusammenfassung und Ausblick	145
A. Rauschverhalten der sCMOS-Kamera	i
Abkürzungsverzeichnis	iii
Symbolverzeichnis	v
Literatur	vii