

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>VI</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Medizinische Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1 Das Sehorgan Auge . . . . .	4
2.2 Struktur der Augenlinse . . . . .	5
2.2.1 Aufbau der Linse . . . . .	5
2.2.2 Linsenfasern . . . . .	7
2.2.3 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen . . . . .	10
2.2.4 Optische Eigenschaften . . . . .	13
2.3 Altersveränderungen der Linse . . . . .	14
2.4 Katarakt-Operationstechniken . . . . .	16
2.4.1 Extrakapsuläre Kataraktextraktion . . . . .	17
2.4.2 Phakoemulsifikation . . . . .	17
2.4.3 Gegenüberstellung der Verfahren . . . . .	19
2.4.4 Linsenersatz . . . . .	19
<b>3 Mechanisches Verhalten von Augenlinsenkernen</b>	<b>21</b>
3.1 Mechanische Eigenschaften aufgrund der Struktur . . . . .	21
3.2 Literaturüberblick zur Messung mechanischer Eigenschaften von Augenlinsen	23
3.3 Wahl einer Meßmethodik . . . . .	25
3.4 Abschätzung der Meßbereiche für Verformung und Kraft . . . . .	26
<b>4 Meßaufbau</b>	<b>29</b>
4.1 Konzept des Meßaufbaus . . . . .	29
4.2 Mechanischer Aufbau . . . . .	31
4.3 Aktorik und Sensorik . . . . .	34
4.3.1 Schwingungserreger . . . . .	34
4.3.2 Verformungssensor . . . . .	35
4.3.3 Kraftsensor . . . . .	37
4.4 Meß- und Steuerelektronik . . . . .	39
4.4.1 Funktionsgenerator . . . . .	39
4.4.2 Sensormeßelektronik . . . . .	40
4.4.3 Meßdatenerfassung . . . . .	42
4.4.4 Abschätzung der Meßfehler . . . . .	44
4.5 Regelung . . . . .	46
4.6 Ablaufsteuerung . . . . .	48
<b>5 Messungen</b>	<b>53</b>
5.1 Beschreibung des Meßablaufs . . . . .	53
5.2 Messung mit nichtperiodischen Testsignalen . . . . .	55
5.2.1 Sprungfunktion . . . . .	55
5.2.2 Rampenfunktion . . . . .	59
5.3 Messung mit periodischen Testsignalen . . . . .	63
5.3.1 Dreieckschwingung . . . . .	63
5.3.2 Rechteckschwingung . . . . .	67
5.3.3 Harmonische Schwingung . . . . .	68

---

5.4	Temperaturverhalten . . . . .	72
5.5	Altersabhängigkeit des mechanischen Verhaltens . . . . .	73
<b>6</b>	<b>Modellierung des mechanischen Verhaltens</b>	<b>76</b>
6.1	Diskretes Modell . . . . .	76
6.2	Parameterbestimmung . . . . .	78
6.3	Simulation . . . . .	80
6.4	Bewertung des Modells . . . . .	86
<b>7</b>	<b>Zusammenhang optischer und mechanischer Größen</b>	<b>87</b>
7.1	Erwägung möglicher Zusammenhänge . . . . .	87
7.2	Messung der optischen Eigenschaften . . . . .	90
7.2.1	In-vivo-Bestimmung optischer Größen . . . . .	90
7.2.2	In-vitro-Bestimmung optischer Größen . . . . .	93
7.3	Korrelation optischer und mechanischer Größen . . . . .	98
7.4	Bewertung der Ergebnisse . . . . .	100
<b>8</b>	<b>Diskussion</b>	<b>102</b>
<b>A</b>	<b>Meßprotokoll</b>	<b>105</b>
<b>B</b>	<b>Meßsystem</b>	<b>106</b>
B.1	Technische Daten des Linsenmeßgerätes . . . . .	106
B.2	Mechanischer Aufbau . . . . .	107
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>109</b>