

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Aufgabenstellung	4
1.1.1 Medizinische Aufgabenstellung	4
1.1.2 Physikalisch-technische Aufgabenstellung	4
2 Stand der Technik	8
2.1 Anwendungen des Lasers in der Medizin	8
2.1.1 Laserphysik	8
2.1.1.1 Lasermedien, Laserarten und Wellenlängen	9
2.1.1.2 Betriebsarten und Kenngrößen eines Lasers	10
2.1.1.3 Strahlführungssysteme	11
2.1.2 Laserwirkung auf biologische Systeme	12
2.1.3 Optische Eigenschaften von Gewebe	15
2.1.4 Thermische Eigenschaften von Gewebe	16
2.1.4.1 Thermische Wirkung der Laserstrahlung	17
2.1.5 Laseranwendung zur Therapie	18
2.1.5.1 Einsatzgebiete	18
2.2 Anwendungen des Ultraschalls in der Medizin	19
2.2.1 Ultraschallwirkung auf biologische Systeme	19
2.2.1.1 Sicherheits- und Grenzwertbetrachtungen	20
2.2.2 Therapeutische Anwendungen des Ultraschalls	21
2.2.2.1 Ultraschallschneiden in der Chirurgie (CUSA)	21
2.2.2.2 Wirkmechanismen	22
2.2.2.3 Medizinische Anwendungsgebiete	23
2.2.3 Übertragung von akustischen Signalen über Lichtwellenleiter	25
2.2.3.1 Übertragung von Stoßwellen	26

Theoretischer Teil

3 Analyse der intrinsischen Wechselwirkung von Licht und Schall	28
3.1 Einfluß von Schallwellen auf die optischen Transmissionseigenschaften	28
3.1.1 Einfluß der Schallintensität auf die Änderung der optischen Brechzahl	28
3.1.2 Einfluß der Schallfrequenz und Auslenkung auf die Änderung der optischen Brechzahl	28
3.1.3 Einfluß der Schalleistung und der Geometrie auf die optische Brechzahl	28
3.2 Einfluß von gepulsten Lasern auf die akustischen Transmissionseigenschaften	29
3.3 Schlußfolgerung	31
4 Akustisches Übertragungsverhalten von Lichtwellenleiter	33
4.1 Übertragung von niederfrequentem Ultraschall über Quarzglasfasern	33
4.1.1 Ausbreitung von akustischen Wellen in homogenen Glasstäben	34
4.1.1.1 Schallfeldgrößen	34
4.1.1.2 Dehnwellen in Glasstäben	35
4.1.1.3 BiegeWellen in Glasstäben	38
4.1.1.4 Torsionswellen in Glasstäben	39
4.1.1.5 Rayleighwellen in Glasstäben	40
4.1.2 Ausbreitung von akustischen Wellen in Stäben mit koaxialem Cladding	40
4.1.3 Einfluß der Dämpfung	41
4.1.3.1 Intrinsische Verluste	41
4.1.3.2 Verluste durch die Elastizität des Materials	42
4.1.3.3 Einfluß des Kunststoffcoatings auf die Schallübertragung	44
4.1.3.4 Verluste durch Rayleighstreuung	46
4.1.3.5 Extrinsische Verluste	47
4.1.4 Schallausbreitung an Grenzschichten	47
4.1.5 Theoretische Bestimmung der Leistungsparameter	50

4.1.5.1 Übertragbare Leistungen.....	51
4.1.5.2 Festigkeit, Knick-, Zug- und Druckbelastung.....	52
4.1.5.3 Transferfunktion.....	53
4.1.5.4 Einfluß der Biegung.....	54
4.1.5.5 Berechnung des akustischen Übertragungsverhaltens.....	59
5 Konzeption zum Aufbau eines kombinierten Laser-Schallübertragungssystems.....	62
5.1 Präzisieren der Aufgabenstellung.....	62
5.1.1 Funktionsstruktur (Gesamt- und Teilfunktionen).....	63
5.1.2 Aufgliedern in Teilfunktionen.....	63
5.2 Konzept des Gesamtsystems.....	64
5.2.1 Systemstruktur der einzelnen Baugruppen des Laser-Ultraschall-Kombinationssystems.....	65
5.2.2 Ultraschallwandler.....	66
5.2.3 Ansteuerung des Ultraschallwandlers (US-Generator).....	68
5.2.4 Opto-akustischer Wellenleiter.....	68
5.2.4.1 Standardfaser als opto-akustischer Wellenleiter.....	69
5.2.5 Faserkoppellement.....	69
5.2.6 Verbindungstechnik von US-Wandler und opto-akustischem Wellenleiter.....	69
5.2.6.1 Fügen der Faser/des Tapers durch An- und Einpressen.....	70
5.2.6.2 Fügen der Faser durch Kleben.....	71
5.2.6.3 Konfiguration der Klebeverbindung.....	71
5.2.6.4 Klebstoffe.....	73
5.2.6.5 Klebstofffreienuntersuchung.....	74
5.2.6.6 Analyse des Schwingungszustandes in der Klebeverbindung.....	76
5.2.7 Quarzlastaper als Lichtwellenleiter.....	79
5.2.8 Bestimmung des Faserabstandes bei der Lasereinkopplung.....	82
5.2.9 Faserführung des Lichtwellenleiters durch das System.....	82
5.2.10 Implementierung einer Absaugung und Spülung.....	83
5.2.10.1 Konzept der Absaugung und zusätzlicher Spülung zur Integration in ein Endoskop.....	84
5.2.11 Gehäuse.....	84
Experimenteller Teil	
6 Material und Methoden.....	90
6.1 Aufbau des Meßplatzes.....	90
6.1.1 Detektion der Schwingung.....	92
6.1.2 Fügen der Faser.....	93
6.1.3 Akustische Abstimmung des Schwingensystems.....	93
7 Konstruktion eines kombinierten Laser- Schallübertragungssystems.....	96
7.1 Ultraschallwandler.....	96
7.2 Ultraschall-Generator, ungerregelt.....	98
7.2.1 Aufbau des Hochfrequenzgenerators mit Leistungsstufe.....	98
7.2.2 Funktionsgenerator.....	98
7.2.3 Breitbandleistungsverstärker.....	98
7.2.4 Impedanzanpassung (Blindleistungskompensation).....	100
7.3 Ultraschall-Generator, geregelt.....	100
7.3.1 Generatorspezifizierung (Amplituden- und Resonanzregelung).....	101
7.3.1.1 Funktion des geregelten Generators.....	102
7.3.1.2 Anschwingbegrenzung.....	103
7.4 Opto-akustischer Wellenleiter.....	103
7.5 Faserkoppellement und Verbindungstechnik von US-Wandler und opto-akustischem Wellenleiter.....	103
7.5.1 Fügen der Faser durch An- und Einpressen.....	106

7.5.2 Fügen der Faser durch Kleben.....	109
7.5.2.1 Optimierung von Klebespalt und Fügelänge.....	109
7.5.2.2 Untersuchungen zur weiteren Spezifikation	109
7.5.2.3 Diskussion	112
7.6 Lasereinkopplung	113
7.7 Gehäuse	115
7.8 Faserführung	116
7.9 Darstellung des Gesamtsystems.....	117
7.10 Numerische Simulation des Gesamtsystems.....	119
8 Ergebnisse	124
8.1 Experimentelle Evaluierung des Applikationssystems zur Ultraschallübertragung.....	124
8.1.1 Alleinige Betrachtung der Quarzglasfaser.....	124
8.1.2 Betrachtung des kompletten Applikationssystems	125
8.1.3 Leistungsübertragung bei Kontakt mit wäßrigem Medium	129
8.1.4 Untersuchungen zum Absaug- und Spülsystem	131
8.2 Experimentelle Evaluierung des Applikationssystems zur kombinierten Laser- und Ultraschallübertragung.....	132
8.2.1 Akustische Leistungsparameter.....	132
8.2.1.1 Bestimmung der maximal übertragbaren Amplitude.....	132
8.2.1.2 Bestimmung der maximal übertragbaren akustischen Leistung	133
8.2.2 Optische Leistungsparameter.....	133
8.2.3 Ultraschall-Gewebe-Wechselwirkung	133
8.2.4 Untersuchung der Wirkung von Ultraschall an In-vitro-Proben	135
8.2.4.1 Einfluß der Frequenz und der Absaugung	136
8.2.4.2 Einfluß der Leistung.....	137
8.2.4.3 Vergleich mit konventionellem CUSA-System	138
8.2.5 Untersuchung der Wirkung von NIR-Laserstrahlung und Ultraschall auf biologisches Gewebe.....	139
8.2.5.1 Makroskopische Untersuchungen	140
8.2.5.2 Untersuchungen an Lebergewebe.....	140
8.2.5.3 Untersuchungen an Nierengewebe.....	142
8.2.5.4 Untersuchungen an Hirngewebe.....	142
8.2.6 Histologische Untersuchungen	143
8.2.6.1 Aufbereitung der Präparate.....	143
8.2.6.2 Untersuchungen an Lebergewebe.....	144
8.2.6.3 Untersuchungen an Nierengewebe.....	145
8.2.6.4 Untersuchungen an Hirngewebe.....	147
8.2.7 Raster-Elektronen-Mikroskopische Untersuchungen	148
8.2.7.1 Aufbereitung der Präparate.....	148
9 Schlußfolgerungen, Nutzbarkeit der Resultate und Ausblick.....	149
9.1 Schlußfolgerungen	149
9.2 Nutzbarkeit der Resultate und Ausblick	150
10 Literaturverzeichnis.....	152
11 Verzeichnis der Formelgrößen und Abkürzungen	162

Anhang

- Lebenslauf
- Danksagung