



Ronald Krebs (Autor)

**Entwicklung eines optoakustischen Verfahrens zur
Bestimmung der optischen Eigenschaften von
menschlicher Haut *in vivo* mittels eines
probabilistischen Ansatzes nach Bayes**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/724>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Methoden zur direkten Bestimmung optischer Eigenschaften	3
1.2	Verfahren basierend auf dem optoakustischen Effekt	4
1.3	Ziele dieser Arbeit	6
2	Mathematische Darstellung von thermoelastischen Drucktransienten	9
2.1	Induzierung von thermoelastischen Drucktransienten	11
2.2	Die Transferfunktion	12
2.3	Analytische Lösung für das homogene Problem	16
2.4	Lösung für Schichten mit inhomogener Absorptionsverteilung	16
2.5	Ausbreitung der Transiente im Medium	18
3	Simulation der Schallinduzierung	21
3.1	μ_a - Modellierung von inhomogenen Absorptionsverteilungen	22
3.2	Modellierung des Laserpulses	24
3.3	Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung $v_r(\tau)$	25
3.4	Der initiale Druck $P_0(v_r(\tau))$	25
3.5	Der Druck am Detektor, $p(z, \tau, r_{\perp} = 0)$	27
3.6	Die Übertragungsfunktion: Einfluss des Detektors auf die Transiente	28
3.7	Die Übertragungsfunktion nach der Leitungstheorie	28

4	Analyse der simulierten Transienten	31
4.1	Featureanalyse der optoakustischen Modelltransienten	31
4.1.1	Variation der Laserpulsdauer der Modelltransienten	33
4.1.2	Einfluss der Laserpulsdauer auf die Transienten im Frequenzraum	37
4.1.3	Zusammenfassung: Laserpulsdauer	38
4.1.4	Variation der Laserpulsenergie der Modelltransienten	39
4.1.5	Einfluss der Laserpulsenergie auf die Transienten im Frequenzraum	42
4.1.6	Variation der Absorptionskoeffizienten der Modelltransienten	42
4.1.7	Einfluss des Absorptionskoeffizienten auf die Transienten im Frequenzraum	46
4.1.8	Zusammenfassung: Variation der Absorptionskoeffizienten	47
4.2	FFT-Phase und Hauptfrequenzkomponenten der Transiente	47
4.3	Mehrschicht-Modelle	50
4.4	Zusammenfassung der Featureanalyse	53
5	Das Messsystem	55
5.1	Laserquelle	56
5.2	Fasereinkopplung	58
5.3	Energiemonitor	59
5.4	Sensorkopf	61
5.5	Ultraschallsensor und PVDF-Folie	62
5.6	Vorverstärker	64
5.6.1	Verstärkerdesign	65
5.7	Signalleitung zu den AD-Karten (“the last mile”)	67
5.8	AD-Karten	68
5.8.1	Acqiris DP240	68
5.8.2	Acquitek CH-3150	69
5.9	Digitalisierung und die Frequenz des Systems	69
5.10	Axiale und zeitliche Auflösung des Systems	70
6	Energiekalibrierung	71
6.1	Genauigkeit der Ermittlung der Laserpulsenergie	74

7	Signaltheoretische Untersuchung der Messsignale	79
7.1	Störungsbehaftete Messungen	80
7.1.1	Die Anwendung von Signalfiltern	81
7.2	Normierung der Signale über die Laserpulsenergien	83
7.3	Frequenzanalyse der Messsignale	84
7.4	Mittelung von Messungen	88
7.5	Vergleich von Messsignalen	91
7.6	Korrelation von Messungen	92
8	Bestimmung der Übertragungsfunktion	97
8.1	Referenzmessungen für die Bestimmung der Übertragungsfunktion	97
8.2	Bestimmung der Übertragungsfunktion	98
8.2.1	Bestimmung der Skalierungsfunktion	101
8.2.2	Bestimmung der Phasen Anpassung $e^{i\theta(\omega)}$	105
8.3	Verschiedene Messkampagnen: Problem der akustischen Ankopplung	115
8.3.1	Aufstellung der festen Skalierungsfunktion	118
8.3.2	Bestimmung des k -Werts	119
8.4	Beispiel der k -Wertbestimmung	122
8.5	Beispiel der Anwendung der Übertragungsfunktion	124
9	Bestimmung der Absorptionskoeffizienten	129
9.1	Einführung in den Bayesschen Ansatz	130
9.2	Ein einfaches Beispiel für den Bayesschen Ansatz	131
9.3	Ermittlung des Absorptionskoeffizienten mit dem Bayesschen Ansatz	135
9.4	Ähnlichkeit der Transienten bei hohen Absorptionskoeffizienten	141
10	Auswertung von Proben <i>in vitro</i>	143
10.1	Bestimmung der Absorptionskoeffizienten bei bekannter Ankopplung	144
10.2	Ermittlung der Absorptionskoeffizienten bei unbekannter Ankopplung	148
10.2.1	Ermittlung der Absorptionskoeffizienten bei unbekannter Ankopplung mit geschätztem k -Wert	148
10.2.2	Ermittlung der k -Werte “direkt” aus den Messungen	150
10.2.3	Fehler durch eine ungenaue k -Wertbestimmung	153
10.3	Abschließende Bewertung der Referenzproben bei unbekannter Ankopplung . . .	157

11 Proben <i>in vivo</i>	163
11.1 Menschliche Haut	163
11.1.1 Exemplarische Messung an menschlicher Haut <i>in vivo</i>	165
11.1.2 Auswertung von Messungen an Proband “Kr”	166
11.1.3 Auswertung der Messungen an verschiedenen Probanden	176
11.2 Auswertung vom <i>Ficus benjamina</i>	181
11.3 Zusammenfassung der Messungen <i>in vivo</i>	184
12 Schlussfolgerungen und Ausblick	185
A Übersicht: Auswertung der Referenzproben	191
A.1 Details der Referenzproben-Ergebnisse	191
B Übersicht: Auswertung der Messungen an Probanden	198
C Datenaquisitionssoftware-Module	203
C.1 Datenaquisitionssoftware AcqirisMon v1.9.0	203
C.1.1 Lasersteuerung	204
C.1.2 Laserpulsenergiekalibriermodul	205
C.1.3 Lasertargeting	205
C.1.4 Datenaquisition	206
C.1.5 Messprotokoll	206
Literaturverzeichnis	209
Eigene Veröffentlichungen	217
Danksagung	219