

Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Fachlaboratorium Biomedizinische Optik und NMR-Messtechnik

Nahinfrarotspektroskopie am Kopf des Erwachsenen mit Pikosekunden-Zeitauflösung

Jens Steinbrink

Im Fachbereich Physik der Freien Universität Berlin
Oktober 2000 eingereichte Dissertation

Angefertigt an der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Fachlaboratorium Biomedizinische Optik und NMR-Messtechnik
und an der Neurologischen Klinik der Charité

Gutachter:

1.) Prof. Rinneberg

2.) Prof. Heyn

Disputation: 13. November 2000

Die Kurzfassung der Ergebnisse nach §6(5) der Promotionsordnung des Fachbereichs Physik vom 15. Mai 1985 befindet sich auf Seite 159 f.

Normal

Sagt Ihm,
er soll die Gabel links nehmen
und das Messer rechts.
Einarmig gilt nicht.

G. Eich

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Literatur	4
2. Photonentransport	7
2.1. Einzelstreuung und Absorption	8
2.2. Vielfachstreuung und Absorption	9
2.3. Optische Messgrößen und ihr Rauschen	10
2.4. Monte-Carlo Simulation	15
2.5. Photonentransport in Diffusionsnäherung	18
2.5.1. Infinites homogenes Medium	19
2.5.2. Semi-infiniten homogenen Mediums und seine Randbedingungen	19
2.5.3. Bestimmung der optischen Eigenschaften des semi-infiniten Mediums	21
2.5.4. Semi-infinites Zwei-Schicht System	25
2.6. Zusammenfassung	28
2.7. Literatur	29
3. Experimentelle Aufbauten	35
3.1. Zeitaufgelöste Reflexionsmessungen	35
3.1.1. Verwendete Strahlungsquellen	36
3.1.2. Verwendete Detektoren	37
3.1.3. Zeitkorrelierte Einzelphotonenzählung	38
3.1.4. Klinischer Messplatz	39
3.2. Spektroskopischer Messplatz an der Charité	44

3.3. Literatur	44
4. Tiefenbestimmung	45
4.1. Das DPF-Konzept	45
4.2. Das Prinzip der Tiefenbestimmung	47
4.3. Photonentransport bei Absorptionsänderung	48
4.3.1. Homogene Absorptionsänderung	51
4.3.2. Absorptionsänderung in einer Schicht	53
4.3.3. Kleine Absorptionsänderungen in beliebigen Schichten	53
4.4. χ^2 -Minimierung mit Hauptwertzerlegung	58
4.5. Phantomexperimente	62
4.5.1. Aufbau eines Schichtphantoms	62
4.5.2. Ergebnisse am Zwei-Schicht-Phantom	63
4.5.3. Drei-Schicht-Phantom	68
4.6. Zusammenfassung	72
4.7. Literatur	72
5. Von den optischen Gewebeeigenschaften zum Kopfmodell	75
5.1. Anatomie des Kopfes	75
5.2. Wie klar ist der Liquorraum ?	81
5.3. Relevante Chromophore und Lichtstreuung im Kopfgewebe .	83
5.4. Zusammenfassung	86
5.5. Literatur	88
6. Physiologische Grundlagen des Sauerstofftransportes durch Blut	91
6.1. Zusammensetzung des Blutes	91
6.2. Die Sauerstoffsättigung in den Gefäßkompartimenten des Ge- hirns	94
6.3. Weitere Eigenschaften der Gehirndurchblutung	96
6.4. Potentielle klinische Anwendungen der NIRS am Kopf	98
6.5. Zusammenfassung	102
6.6. Literatur	103
7. In vivo Studien	105
7.1. Visuelle Stimulation – Auswertung mit DPF-Konzept	106
7.2. Tiefenauflösung bei funktioneller Stimulation	109

7.3. Kontrastmittelinjektion zur Blutflussbestimmung	114
7.4. Hyperoxygenierung	122
7.5. Pulsoxymetrie am Gehirn?	124
7.6. Zeitaufgelöst vs. Multiabstand	129
7.7. Zusammenfassung	130
7.8. Literatur	130
8. Messung der Sauerstoffsättigung im Gehirn?	133
8.1. Die Sauerstoffsättigung berechnet aus dem Quotienten von Absorptionskoeffizienten	134
8.2. Test von NIRS-Algorithmen	134
8.2.1. Ein Modell für den Kopf mit unterschiedlicher Sauer- stoffsättigung in den Gewebekompartimenten	134
8.2.2. Test der Algorithmen	136
8.3. Phantomexperiment	140
8.4. In-vivo-Experiment	141
8.5. Zusammenfassung	142
8.6. Literatur	143
9. Analyse und Simulation	145
9.1. Vorverarbeitung von Laufzeitverteilungen	145
9.2. Anpassen von Laufzeitverteilungen	146
9.3. Entfaltung von Laufzeitverteilungen	146
9.4. Der Code der Monte-Carlo Simulation	149
9.4.1. Algorithmus	150
9.4.2. Test der MC-Simulation	152
9.4.3. Rauschen der MC-Simulation	153
9.5. Literatur	154
10. Ausblicke - Wie kann es weiter gehen?	157
11. Zusammenfassung	159
Index	170

