

Inhalt

Vorwort — V

Abbildungsverzeichnis — XI

Tabellenverzeichnis — XIII

1 Einleitung — 1

- 1.1 Bedeutung neuropathischer Erkrankungen — 1
- 1.2 Darstellung des Entwicklungsstands — 2
 - 1.2.1 Konfokalmikroskopie der Kornea — 2
 - 1.2.2 Diabetische Neuropathie — 4
 - 1.2.3 Innervation der Kornea — 6
 - 1.2.4 Veränderung der sub-basalen Nervenstrukturen der Kornea — 8
 - 1.2.5 Großflächige Abbildung des sub-basalen Nervenplexus — 15
- 1.3 Ziele und Aufgaben — 21

2 Neues Konzept zur großflächigen Bildgebung der Kornea — 23

- 2.1 Beschreibung der Komponenten zur Bilddatengewinnung — 23
 - 2.1.1 Anzeige der Fixationsmarke — 25
 - 2.1.2 Bildgebung — 25
 - 2.1.3 Steuerungssoftware — 26
- 2.2 Beschreibung der Komponenten zur Mosaikbilderzeugung — 28
 - 2.2.1 Registrierung der Bildserie — 29
 - 2.2.2 Fusion der Bilddaten zu einem Mosaikbild — 29
- 2.3 Zusammenfassung — 29

3 Algorithmen für einen automatisierten Aufnahmeprozess — 31

- 3.1 Bidirektionaler Datenaustausch mit der Mikroskopsoftware — 32
- 3.2 Neue Bahnführung der Fixationsmarke — 33
- 3.3 Zusammenhänge zwischen den beteiligten Koordinatensystemen — 36
 - 3.3.1 Nicht-lineare Modellierung der Koordinatentransformation — 37
 - 3.3.2 Lineare lokale Modellierung der Koordinatentransformation — 43
- 3.4 Ansätze zur adaptiven Anpassung der Fixationsmarkenbahn — 47
 - 3.4.1 Vorbetrachtungen — 47
 - 3.4.2 Adaptive Anpassung der Spiralgeometrie — 49
- 3.5 Zusammenfassung — 51

4	Algorithmen zur automatisierten Erzeugung von Mosaikbildern — 53
4.1	Abstraktion des Aufnahmesystems — 53
4.2	Entstehung der Bewegungsartefakte — 54
4.2.1	Bewegungsartefakte bei gleichförmiger vertikaler Bewegung — 57
4.2.2	Bewegungsartefakte bei gleichförmiger horizontaler Bewegung — 59
4.2.3	Bewegungsartefakte bei beliebigen Bewegungen — 61
4.3	Ableitung einer Prozesskette zur Registrierung der Bilddaten — 62
4.3.1	Vorbemerkungen zu den Bewegungsartefakten — 62
4.3.2	Vorbemerkungen zu Torsionsbewegungen des Auges — 62
4.3.3	Vorbemerkungen zur Modellierung der Abbildungsfläche — 63
4.3.4	Aufbau der Prozesskette — 65
4.4	Versatzbestimmung mittels der Phasenkorrelationsfunktion — 67
4.4.1	Schätzung des Subpixelversatzes — 67
4.4.2	Interpretation des Korrelationswerts — 68
4.4.3	Interpretation der Bilder als periodische Signale — 70
4.5	Registrierung von Bildpaaren — 73
4.5.1	Registrierung der Gesamtbilder — 73
4.5.2	Registrierung von Teilbildern — 76
4.5.3	Auswahl von zu registrierenden Bildpaaren — 80
4.6	Schätzung des Bewegungsverlaufs der Aufnahmeserie — 82
4.6.1	Formulierung eines linearen Gleichungssystems — 84
4.6.2	Regularisierung des linearen Gleichungssystems — 85
4.6.3	Lösung des linearen Gleichungssystems — 86
4.6.4	Bestimmung der Bildzeilenversatzwerte — 88
4.7	Korrektur der Bewegungsartefakte — 90
4.8	Fusion der Bilddaten — 92
4.9	Zusammenfassung — 94
5	Experimenteller Versuchsaufbau — 96
5.1	Labormuster 1: Monokulare Videobrille — 97
5.2	Labormuster 2: Smartphone mit Displaylupe — 98
5.3	Labormuster 3: Smartphone mit angepasstem 4-Linsen-System — 99
5.4	Zusammenfassung — 100
6	Erprobung des neuen Konzepts — 102
6.1	Übersicht der durchgeführten Messkampagnen — 102
6.1.1	Messkampagne 1 — 104
6.1.2	Messkampagne 2 — 105
6.1.3	Messkampagne 3 — 106
6.1.4	Messkampagne 4 — 107
6.1.5	Messkampagne 5 — 108
6.2	Bestimmung eines Schwellwerts für die offline-Bildregistrierung — 108

6.2.1	Einführung der Konfusionsmatrix — 109
6.2.2	Verteilung der nicht korrekten Registrierergebnisse — 111
6.2.3	Ableitung des Schwellwerts — 112
6.2.4	Diskussion der Ergebnisse — 115
6.3	Analyse der offline-Bildregistrierung — 115
6.3.1	Wahl der Schrittweite — 116
6.3.2	Laufzeitanalyse — 117
6.3.3	Vergleich der Strategien zur Auswahl geeigneter Bildpaare — 120
6.3.4	Diskussion der Ergebnisse — 124
6.4	Beurteilung der Markenbahnparameter — 125
6.4.1	Bewertung der Markengeschwindigkeit — 127
6.4.2	Bewertung des Windungsabstands — 128
6.4.3	Diskussion der Ergebnisse — 130
6.5	Analyse der online-Bildregistrierung — 131
6.5.1	Lagekoordinaten im Vergleich zur offline-Registrierung — 131
6.5.2	Relative Häufigkeit nicht registrierbarer Aufnahmen — 133
6.5.3	Diskussion der Ergebnisse — 135
6.6	Vergleich der Transformationsansätze — 136
6.6.1	Beurteilung der globalen nicht-linearen Transformation — 137
6.6.2	Beurteilung der lokal linear approximierten Transformation — 140
6.6.3	Diskussion der Ergebnisse — 143
6.7	Bewertung der Ansätze zur Anpassung der Spiralparameter — 143
6.8	Zusammenfassung — 147

7 Zusammenfassung und Ausblick — 150

A Konfokalmikroskopie — 153

A.1	Tandem-Scanning-Konfokalmikroskopie — 155
A.2	Spalt-Scanning-Konfokalmikroskopie — 155
A.3	Laser-Scanning-Konfokalmikroskopie — 156

B Morphometrische Merkmale des sub-basalen Nervenplexus — 157

B.1	Nervenfasertortuosität — 157
B.2	Weitere Merkmale — 159

Literatur — 161

Stichwortverzeichnis — 169