Aus dem Institut für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation der Universität zu Lübeck

Direktor: Prof. Dr. Dr. Dr. med. habil. Fritz Schmielau

Referenzwerte für das Lübecker Reaktionszeitperimeter

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

- Aus der Medizinischen Fakultät -

vorgelegt von

Claudius Knepel-Stoll

aus Hamburg

Lübeck 2010

1. Berichterstatter:
Prof.Dr.rer.nat.Dr.phil.Dr.med.habil.Fritz Schmielau

2. Berichterstatterin: Priv.-Doz.Dr.med.Swaantje Peters

Tag der mündlichen Prüfung: 14.04.2011

zum Druck genehmigt. Lübeck, den 14.04.2011

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung. 1
1.1 Perimetrie. 1
1.2 Gesichtsfeld. 4
1.3 Das visuelle System und die Folgen. 5
zerebraler Läsionen
1.4 Rehabilitation von zerebralen Sehstörungen. . . . 10
1.5 Visuelle Rehabilitation mit dem LRP. 13
1.6 Fragestellungen. 18
2 Material und Methoden. 19
2.1 LRP. 19
2.2 Zeitintervalle. 20
2.3 Graphische Darstellung des Gesichtsfeldes. 23
2.4 Probandenkollektiv. 26
2.5 Auswahlkriterien. 28
2.6 Patientenkollektiv. 29
2.7 Messablauf. 30
2.8 Reliabilitätskontrolle. 32
2.9 Vermessung des rechten Auges. 32
3 Ergebnisse. 34
3.1.1 Auswertung der Gesichtsfelder. 34
3.1.2 Auswertung der Reaktionszeiten. 34
3.1.3 Auswertung von Früh-, Spät- und Fehlreaktionen. 37
3.1.4 Verteilung von Früh-, Spät- und Fehlreaktionen
sowie Reaktionszeiten. 38
3.1.5 Statistische Tests und Ergebnisdarstellung. . . .40
3.1.6 Fehlreaktionen im Zusammenhang mit Alter und
Gesichtsfeldbereich. 43
3.1.7 Reaktionszeit im Zusammenhang mit Alter und
Gesichtsfeldbereich. 50
3.1.8 Früh- und Spätreaktionen. 56
3.1.9 Reaktionszeit und Visus. 57
3.2.0 Graphische Gesichtsfelddarstellung. 58
3.2.1 Einzelfalldarstellung weibliche Probanden ab 70
Jahren. 72
3.2.2. Einzelfalldarstellung Frau 94 und Mann 77 Jahre.73
3.2.3 Illustration des Einflusses der Leucht-
intensität auf die Reaktionszeit. 76
3.2.4 Patienten. 77
3.2.5 Patientin A. Insult im Posteriorstrom-
gebiet, Migräne mit Aura, symptomatische Epilepsie. . .77
3.2.6 Pat. B. Insult bei zerebraler Mikroangiopathie. .82
3.2.7 Patient C. Oligodendrozytom II. 86
3.2.8 Patient D. Kardiogen-embolischer Insult
bei persistierendem Foramen ovale. 88
4 Diskussion. 91
5 Zusammenfassung. 104
6 Literaturverzeichnis und Abbildungsnachweis.107

Inhaltsverzeichnis

---

7 Danksagung. 115
8 Lebenslauf. 116
Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Polardiagramm des Gesichtsfeldes vom linken Auge. 4

Abbildung 1.2: Schematische Übersicht zur Sehbahn . . 5

Abbildung 1.3: Homonyme Hemianopsie der linken Gesichtshälfte 8

Abbildung 1.4: Lübecker Reaktionsperimeter (LRP) . . . 14

Abbildung 2.1: Messalgorithmus zur Perimetrie. 21

Abbildung 2.2: Beispiel für ein LRP-Formular 24

Abbildung 2.3: Beispiel einer gemittelten zwei- und dreidimensionalen Gesichtsfelddarstellung. . 25

Abbildung 2.4: Flussdiagramm zur Darstellung des Probanden- und Patientenkollektives. 27

Abbildung 3.1.1: Ausdehnung der drei Gesichtsfeldbereiche. 36

Abbildung 3.1.2: Häufigkeit der Fehlreaktionen 40

Abbildung 3.1.3: Legende zum Box-Whisker-Plot. 41

Abbildung 3.1.4: Beispiel für zweidimensionale Gesichtsfelddarstellung.. 42

Abbildung 3.1.5: Beispiel für dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung. 42

Abbildung 3.1.6: Anzahl der Fehlreaktionen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. 43

Abbildung 3.1.7: Abhängigkeit der Fehlreaktionen vom Alter im Globalbereich. 44

Abbildung 3.1.8: Abhängigkeit der Fehlreaktionen vom Gesichtsfeldbereich. 46

Abbildung 3.1.9: Reaktionszeit in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. 50

Abbildung 3.2.0: Abhängigkeit der Reaktionszeit vom Alter. 51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.2.1: Abhängigkeit der Reaktionszeit vom Gesichtsfeldbereich. 53

Abbildung 3.2.2: Frühreaktion als Funktion des Alters. 57

Abbildung 3.2.3: Visus als Funktion der Reaktionszeit. 58

Abbildung 3.2.4: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 20-29 Jahre.. 61

Abbildung 3.2.5: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 20-29 Jahre. 62

Abbildung 3.2.6: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 30-39 Jahre. 63

Abbildung 3.2.7: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 30-39 Jahre. 64

Abbildung 3.2.8: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 40-49 Jahre. 65

Abbildung 3.2.9: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 40-49 Jahre. 66

Abbildung 3.3.0: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 50-59 Jahre. 67

Abbildung 3.3.1: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 50-59 Jahre. 68

Abbildung 3.3.2: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 60-69 Jahre. 69

Abbildung 3.3.3: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 60-69 Jahre. 70

Abbildung 3.3.4: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen über 70 Jahre. 74

Abbildung 3.3.5: Zweidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frau 94 Jahre und Mann 77 Jahre. 75

Abbildung 3.3.6: Zweidimensionale Gesichtsfelddarstellung am selben Probanden mit unterschiedlicher Leuchtdichte.76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.3.7: Gesichtsfeldzuwachs der Patientin A. .79

Abbildung 3.3.8: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung der Patientin A. 81

Abbildung 3.3.9: Zweidimensionale Gesichtsfeld-darstellung für den Patienten B.. 84

Abbildung 3.4.0: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung des Patienten C. 87

Abbildung 3.4.1: Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung des Patienten D. 90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1.1: Schiefe und Wölbung der Fehlreaktionen für verschiedene Gesichtsfeldbereiche. 39

Tabelle 3.1.2: Schiefe und Wölbung der Reaktionszeiten für verschiedene Gesichtsfeldbereiche. 39

Tabelle 3.1.3: Median der Fehlreaktionen für Geschlecht und Alter. 43

Tabelle 3.1.4: Anzahl der Fehlreaktionen für verschiedene Regionen des Gesichtsfeldes. 45

Tabelle 3.1.5: Korrelation r zwischen Alter und Anzahl der Fehlreaktionen. 47

Tabelle 3.1.6: Regressionsmodelle für den Zusammenhang Alter und Fehlreaktionen in verschiedenen Gesichtsfeldbereichen. 48

Tabelle 3.1.7: U-Test zur Berechnung eines möglichen geschlechtsspezifischen Unterschiedes der Fehlreaktionen. 49

Tabelle 3.1.8: Median der Reaktionszeiten für das globale Gesichtsfeld in den unterschiedlichen Altersklassen. 50

Tabelle 3.1.9: Reaktionszeiten für verschiedene Regionen des Gesichtsfeldes. 52

Tabelle 3.2.0: Korrelation r zwischen Alter und Reaktionszeit. 54

Tabelle 3.2.1: Spannweite der Reaktionszeit als Funktion des Alters für das globale Gesichtsfeld. . . .55

Tabelle 3.2.2: U-Test zur Berechnung eines möglichen geschlechtsspezifischen Unterschiedes bei den Reaktionszeiten. 55

Tabelle 3.2.3: Deskriptive Statistik der Früh- und Spätreaktionen für das globale Gesichtsfeld. 56

Tabelle 3.2.4: U-Test zum möglichen geschlechtsspezifischen Unterschied bei Früh- und Spätreaktionen. 57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.2.5. Fehlreaktionen weibliche Probanden über 70 und unter 94 Jahre. 72

Tabelle 3.2.6: Reaktionszeiten weibliche Probanden über 70 Jahre. 72

Tabelle 3.2.7: Deskriptive Statistik für Frau 94 und Mann 77 Jahre im globalen Gesichtsfeld. 73

Tabelle 3.2.8: Darstellung der wichtigsten Parameter für das globale Gesichtsfeld. 77

1. Einleitung

1.1 Perimetrie

Die Perimetrie (von griechisch *peri* „herum", *metron* „das Maß") gehört mit zu den ältesten Untersuchungsmethoden der Medizin und ist definiert als systematische Vermessung des Gesichtsfeldes.

Überlieferungen von ersten orientierenden Gesichtsfeldmessungen reichen bis etwa 150 v. Chr. zu Ptolemäus. Die abnehmende Sehschärfe nach peripher beschreibt Damäanus 400 n. Chr. Mit zunehmenden klinischen Kenntnissen in der Neuzeit, wie z.B. der Entdeckung des Blinden Fleckes 1666 durch Mariotte, entwickelte sich die Perimetrie zu einer gängigen Diagnostikmethode der Augenheilkunde. So führten Albrecht und Graefe bereits 1856 umfangreiche und standarisierte Messungen an sehbehinderten Patienten durch [Lauber 1944].

Nach in der Horizontalachse schwenkbaren Bogenvorrichtungen und planen Tafeln als Prüfflächen setzte sich Mitte des 20. Jahrhunderts das Halbkugelperimeter durch [Lachenmayr und Vivell 1992].

Dies war ein bedeutender Schritt zu einer reproduzierbaren Perimetrie, da mit der Halbkugel der Adaptationszustand des Auges kontrollierbarer wurde. Vor allem die von Goldmann (1945b) entwickelte Halbkugel, auf deren Pol der Patient seinen Blick zu richten hat, gilt als Prototyp des Halbkugelperimeters. Auf dieser Kugel erscheinen dann die Prüflichtpunkte.

Die Einführung von automatisierten, computergesteuerten Messabläufen und Auswertungen hat in den letzten 30 Jahren die heutigen modernen Perimeter, wie z.B. den OCTOPUS ®, hervorgebracht, die sich durch objektive, reproduzierbare und standarisierte Messungen auszeichnen.

In der Perimetrie lassen sich die beiden großen Obergruppen der statischen und kinetischen Perimetrie voneinander unterscheiden. Sie sind weniger konkurrierende als vielmehr frageabhängige Methoden.

1 Einleitung

In der kinetischen Perimetrie bewegen sich die Prüfmarken definierter Leuchtdichte und Größe auf der Prüffläche (z.B. Halbkugel) von peripher zentripetalwärts, bis der Proband die Prüfmarke bemerkt. Wird dies für verschiedene Meridiane auf der Perimeterhalbkugel wiederholt, bekommt man - ähnlich einer Landkarte mit Höhenlinien - eine Darstellung der Gesichtsfeldgrenze.

Die statische Perimetrie dagegen verwendet *fest* installierte Prüfmarken definierter Größe und Leuchtdichte auf der Prüffläche und präsentiert diese dem Probanden nach einem bestimmten Algorithmus.

Üblicherweise wird bei der statischen Perimetrie die sog. Lichtunterschiedsempfindlichkeit geprüft.

Diese beschreibt die Fähigkeit, einen Leuchtdichteunterschied zwischen der Prüfmarke und dessen Hintergrund zu erkennen. Der Proband signalisiert, sobald er die Prüfmarke wahrgenommen hat. Dabei nimmt die Leuchtdichte der Prüfmarke aus dem unterschwelligen Bereich beginnend zu, bis die individuelle Wahrnehmungsschwelle des Probanden erreicht ist und er die Prüfmarke erkennt. Für die statische Perimetrie sind dabei zahlreiche Verfahren entwickelt worden, die individuelle Wahrnehmungsschwelle zuverlässig und schnell zugleich zu bestimmen.

So gibt es sog. Eingabelungsverfahren, die sich zunächst mit großen Leuchtdichteschritten und dann in einer Art Feinabstimmung der individuellen Wahrnehmungsschwelle nähern. Wieder andere Verfahren verwenden Wahrscheinlichkeitsfunktionen. Ziel dabei ist es, die Untersuchungszeit möglichst kurz und für den Patienten weniger belastend zu halten [Schaumberger 1999].

Während die kinetische Perimetrie Gesichtsfelddefekte mit steilen Gradienten gut abbildet, gelingt dies bei solchen mit flachen Gradienten zuverlässiger mit der statischen Perimetrie. Da die Lichtunterschiedsempfindlichkeit zentral mit einem flacheren Gradienten verläuft als peripher, wird für Vermessungen im Gesichtsfeldzentrum die statische Perimetrie bevorzugt [Lachenmayr und Vivell 1992].

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben zahlreiche Erkenntnisse der Histologie und Physiologie des visuellen Systems zu neuen Perimetriearten geführt, die den sehr speziellen Fragestellungen Rechnung tragen.

In der Ophthalmologie gibt es - bedingt durch die Arbeiten von Kerrigan-Baumrind et al.(2000) und Morgan et al.(2002) - neue histologische und pathophysiologische Erkenntnisse über die Retina. So wurde entdeckt, dass retinale Ganglionzellen mit größeren Zellkernen und Axondurchmessern beim Glaukom sehr früh untergehen.

Die bereits länger bekannte funktionelle Gliederung teilt die retinalen Ganglienzellen in parvo,- magno,- und koniozelluläre ein. Da die magno- und koniozellulären Ganglienzellen größer sind als die parvozellulären und Erstgenannte wesentlich bei der Verarbeitung von Bewegung, Flickermustern und Blaulicht sind, wurden als frühsensitive Diagnostikverfahren beim Glaukom die Flickerperimetrie (FDT) und Kurzwellenperimetrie (SWAP) entwickelt. Eine gute Übersicht zu neuesten Perimetrieverfahren gibt Mc Kendrick (2004).

Die moderne Perimetrie findet auch bei gutachterlichen Fragen, wie z.B. der Straßenverkehrstauglichkeit, Anwendung. Die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft [DOG] hat hierfür eigens Leitlinien mit Anforderungen an das Gesichtsfeld des Verkehrsteilnehmers sowie das eingesetzte Perimeter herausgegeben, z.B. die „Leitlinie der DOG Verkehrskommission für die Prüfung des Gesichtsfeldes bei der Fahreignungsbegutachtung“ aus 2008. Des Weiteren sei auf arbeitsmedizinische Begutachtungen des Gesichtsfeldes hingewiesen, die sich z.B. aus Anforderungen an das Führen von Maschinen und Anlagen ergeben.

Die bisher aufgeführten Perimetrieverfahren werden vor allem bei augenbezogenen (ophthalmologischen) Erkrankungen eingesetzt, wie z.B. der Diagnostik des Glaukoms. Der Sehvorgang ist jedoch bekanntlich ein Prozess, der größtenteils im Gehirn stattfindet.

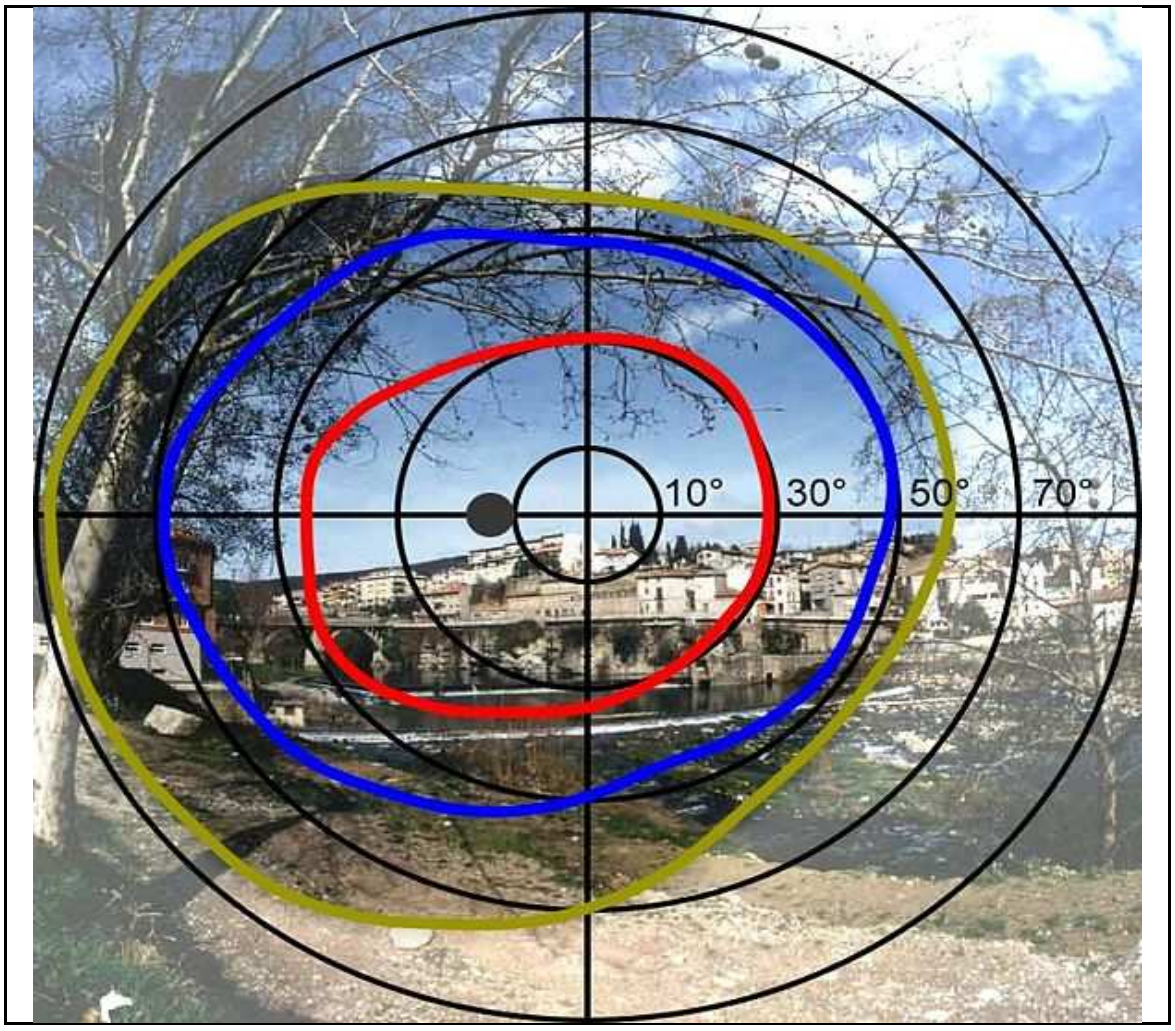

Abbildung 1.1. Polardiagramm des Gesichtsfeldes vom linken Auge. Rote/blaue Kurve: Gesichtsfeldausdehnung für jeweilige Farbe; Gelb: Gesamtes Gesichtsfeld des linken Auges. Schwarzer Punkt: Lage des blinden Fleckes (nach Anton 2007).

1.2 Gesichtsfeld

Als Gesichtsfeld wird der mit unbewegtem Auge wahrgenommene Teil des Raumes bezeichnet. Die Ausdehnung erstreckt sich nach oben bis etwa 50°, nach unten 70°, nach nasal 60° und nach temporal etwa 90°.Individuelle Unterschiede in der Ausdehnung ergeben sich u.a. durch die jeweils verschiedenen Formen des Schädelknochens und der damit relativen Lage der Augen.

1.3 Das visuelle System und die Folgen zerebraler Läsionen

Die Sehbahn leitet die Aktionspotenziale von der Retina zur Sehrinde: Die Sinneszellen der Retina (Zapfen und Stäbchen) stellen das erste Neuron der Sehbahn dar. Sie projizieren auf die daran anschließenden retinalen bipolaren Zellen, welche das zweite Neuron der Sehbahn darstellen. Von den bipolaren Zellen erfolgt die Projektion auf das dritte Neuron, die Ganglienzellen. Sie liegen auf der lichtzugewandten Seite der Retina und bilden mit ihren zentralwärts gerichteten Fortsätzen den N. opticus.

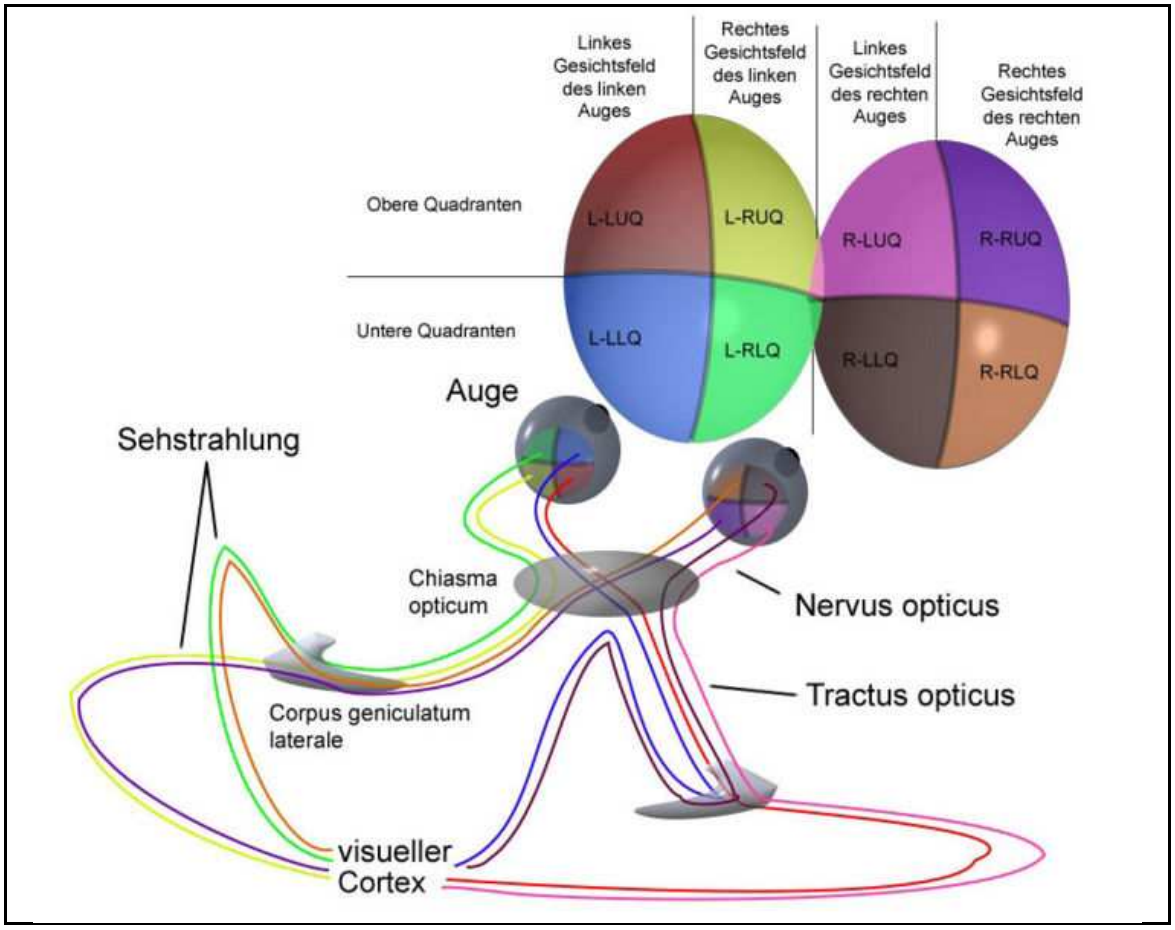

Abbildung 1.2. Schematische Übersicht zur Sehbahn (nach Ratznium 2007).

Abbildung 1.2 gibt eine schematische Übersicht zum Verlauf der Sehbahn.

Nach Eintritt in die Schädelhöhle kreuzen die *Nervi optici* beider Augen in der Sehnervenkreuzung (*Chiasma opticum*). Ungekreuzt weiter verlaufen die Fasern der lateralen (temporalen) Netzhauthälften, während die Fasern der medialen (nasalen) Netzhauthälften zur Gegenseite kreuzen. Die Neurone der Makula (zentrale Retina, Stelle des schärfsten Sehens) verlaufen sowohl gekreuzt als auch ungekreuzt. Es ist zu beachten, dass Gegenstände der nasalen Gesichtsfeldhälfte auf der Netzhaut temporal abgebildet werden.

In den daran anschließenden *Tractus optici* verlaufen diese Nervenfasern weiter zum Thalamus, wo im Corpus geniculatum laterale die Umschaltung auf das vierte Neuron erfolgt. Vom Corpus geniculatum laterale setzt sich die Sehbahn über die Radiatio optica zur primären Sehrinde fort, die im medialen Okzipitallappen lokalisiert ist (Area 17 nach Brodmann). Die Radiatiofasern enden in der primären Sehrinde retiontop. Dies bedeutet, dass auf der Retina benachbarte Bezirke hier ebenfalls benachbart abgebildet werden. Es erfolgt die weitere hoch komplexe Verarbeitung der visuellen Afferenzen in der angrenzenden sekundären Sehrinde. Weitere Regionen, wie Parietal- und Temporallappen nehmen ebenfalls an der Verarbeitung visueller Reize teil [Trepel 1999].

Die kortikale Vergrößerung von zentralen Gesichtsfeldanteilen gegenüber peripheren (Cortical Magnification Factor) ist nur ein Beispiel für die zerebrale Verarbeitung des tatsächlich Gesehenen.

Retina und Sehnerv werden von der A. opthalmica versorgt. Die Versorgung der proximalen bzw. mittleren Anteile des Tractus opticus erfolgt über die A. choroidea ant. (aus A. carotis interna) bzw. die A. cerebri media. Die folgenden Anteile der Sehbahn werden durch die A. cerebri posterior versorgt [Trepel 1999].

Das die Makula repräsentierende Areal im Kortex enthält besonders viel vaskuläre Redundanzen, so dass die Makula beispielsweise bei ischämischen Läsionen häufig von Ausfällen verschont wird.

1 Einleitung

Tumoren, Entzündungen, Blutungen, Traumata und Ischämien können zerebrale Läsionen setzen, die die Sehleistung erheblich mindern und zur Schwerbehinderung führen können. 97% der Patienten mit stattgehabten Infarkten im Versorgungsgebiet der A. cerebri posterior leiden an Einschränkungen ihres visuellen Systems. So sind neben dem Gesichtsfeld andere Funktionen des Sehens wie Farbwahrnehmung, Tiefensehen, Visus, Adaptation an wechselnde Lichtverhältnisse sowie komplexe Funktionen, wie z.B. das Lesen, beeinträchtigt [Cramon und Zihl 1988].

Die Häufigkeit zerebraler Läsionen ist groß. 200.000 bis 250.000 Menschen erleiden allein in Deutschland pro Jahr einen Schlaganfall, entweder zum ersten Mal oder als Folgeanfall [Kolominsky-Rabus und Heuschmann 2002]. In Europa ist der Schlaganfall die dritthäufigste Ursache für Behinderung und frühzeitige Invalidität [Murray und Lopez 1997].

Die Stiftung Deutsche Schlaganfall Hilfe unterstreicht, dass ein Jahr nach dem Ereignis 50% der Patienten behindert und auf fremde Hilfe angewiesen sind.

Eine klinisch häufig beobachtete Folge von zerebralen Läsionen ist die sog. homonyme Hemianopsie. Hierunter versteht man den Ausfall einer Gesichtsfeldhälfte beider Augen an jeweils denselben Bereichen. Ursächlich hierfür sind postchiasmatische Läsionen der Sehbahn. Im Gegensatz dazu steht die heteronyme Hemianopsie, z.B. bei medialen Chiasmaläsionen, mit bitemporalen Gesichtsfeldausfällen. Homonyme Anopsien lassen sich weiter unterteilen, beispielsweise in Form, Lage oder auch Ausdehnung [Zihl und Cramon 1986]. Abbildung 1.3 zeigt eine homonyme Hemianopsie mit Ausfall der linken Gesichtshälfte.

Abbildung 1.3. Homonyme Hemianopsie der linken Gesichtshälfte (nach Nunh-huh 2004).

So vielfältig Größe und Lage von Gesichtsfelddefekten sind, so vielfältig sind auch die damit verbundenen Probleme im Patientenalltag. Temporale Defekte führen häufig zu Anstoßen an Gegenständen in diesem nicht mehr sichtbaren Bereich.

Zentrumsnahe Gesichtsfelddefekte können den Visus empfindlich einschränken, da bekanntlich die zentral gelegene Fovea aufgrund der hohen Rezeptorenzahl die Stelle des schärfsten Sehens darstellt. Des Weiteren ist in diesem Fall das Lesen gestört, da entweder Anfang oder Ende des Wortes durch den Defekt übersehen werden. Der Patient nimmt dann nur einen zusammenhanglosen Text, bestehend aus Wortfragmenten, auf. Mindestens 2° jenseits des Fixationspunktes sind nämlich zum Lesen notwendig.

1 Einleitung

Es sei auf einige wichtige Regeln zu zerebralen Läsionen der Sehbahn hingewiesen.

1.) Regel der Kongruenz: Je chiasmanäher die Läsion, desto inkongruenter verlaufen die Gesichtsfelddefekte (also die Grenze der Defekte beider Augen).

2.) Regel zum Gradienten: Je chiasmanäher die Läsion, desto flacher die Gradienten des Gesichtsfelddefektes hinsichtlich der Lichtunterschiedsempfindlichkeit. Je kortexnäher, desto steiler der Gradient.

3.) Regel zur makulären Aussparung: Die Aussparung der Makula im defekten Gesichtsfeld ist bei chiasmanahen Läsionen klein und nimmt kortexwärts zu. Dies hat entscheidenden Einfluss auf den Visus, da dieser vor allem vom zentralen Gesichtsfeld abhängt. Grund für die makuläre Aussparung sind einerseits o.g. vaskuläre Redundanzen, andererseits die bilaterale Repräsentation der Makula in den Großhirnhemisphären.

4.) Da die extreme Peripherie der temporalen Retina beider Augen jeweils nur in einer Hemisphäre abgebildet wird, können bestimmte Läsionen nur zu einem Ausfall des zugehörigen peripheren Gesichtsfeldes (temporale Sichel) führen.

Bis zur Entwicklung moderner bildgebender Verfahren (z.B. CT, MRT) gehörte die Perimetrie zu einer der wichtigsten Methoden, anhand des ermittelten Gesichtsfeldausfalles auf die Lage einer zerebralen Läsion zu schließen.

Umschriebene Läsionen im Kortex führen häufig zu eng umschriebenen Gesichtsfeldausfällen (Skotomen), welche leicht mit solchen bei retinalen Ausfällen, wie z.B. beim Glaukom, verwechselt werden können. Größe und Form der Skotome sollten daher stets in Verbindung mit klinischer Untersuchung von Auge und Nervensystem (CT, MRT und PET) bewertet werden [Lachenmayr und Vivell 1992].

1.4 Rehabilitation von zerebralen Sehstörungen

Neurologische Leitlinien für Stroke Units empfehlen die frühestmögliche Rehabilitation verloren gegangener Funktionen, dazu gehört gemäß den Leitlinien der Stroke Unit Uniklinik Heidelberg sowie den nationalen Leitlinien für den ischämischen Schlaganfall ausdrücklich auch visuelle Rehabilitation [Hacke 2008]. Kerkhoff (2006) kritisiert, dass der visuellen Rehabilitation zu wenig Beachtung geschenkt wird, da ein intaktes Sehen auch Voraussetzung für Rehabilitationserfolge anderer Funktionen, wie z.B. Bewegung, ist. Edwards et al. (2006) führen an, dass die Diagnostik auf verloren gegangene Funktionen nach einem Schlaganfall zu oberflächlich ist und somit z.B. visuelle Ausfälle nicht bemerkt werden.

Art und Umfang visueller Neurorehabilitation wurden in der Literatur kontrovers diskutiert. Einen guten Überblick liefert Kasten (1999) in seiner Habilitationsschrift.

Allgemein anerkannt sind mittlerweile jedoch die drei Pfeiler der visuellen Neurorehabilitation. Sie bestehen aus:

–Substitution
-Kompensation
-Restitution

Die Substitution gestaltet die Umwelt des Patienten um, z.B. durch Vergrößerungen am PC und Fernseher, durch Lichtadaptationen oder durch spezielle Prismenbrillen.

Mit der Kompensation sind alle Verfahren gemeint, intakte Funktionen als Ersatz für defekte zu verwenden, beispielsweise durch Blickstrategien für den Alltag oder spezielles Lesetraining. Sie gehen bis in die Zeit des Ersten Weltkrieges zurück, als Patienten spezielle Augenübungen durchführen mussten, um ihr Sehvermögen zu verbessern [Poppelreuter 1917].

Zihl entwickelte das sog. ELEX (elektronisches Lese- und Explorations-Trainingsgerät). Auf einem Bildschirm werden Reize dargeboten, die mit möglichst einer Blicksakkade erfasst werden sollen. Die auftauchenden Reize werden unter Vermeidung von Kopfbewegungen mit erweiterten Blicksprüngen in das Gesichtsfeld gebracht.

Erweiterungen des Blickfeldes von bis zu 20° sind erreicht worden [Zihl 1988 a, b]. Zu beachten ist hier jedoch, dass es sich beim Blickfeld im Gegensatz zum Gesichtsfeld um den Bereich der visuellen Umgebung handelt, in dem bei unveränderter Kopfstellung unter *Zuhilfenahme von Augenbewegungen* Objekte erkannt werden können.

Ein in der Literatur häufig aufgeführter Nachteil der Substitution ist, dass die Aufmerksamkeit von dem blinden hinein ins intakte Areal verlagert wird, so dass blinde Areale verkümmern. Es ist bekannt, dass im visuellen System einem Gesichtsfeldanteil entsprechende Sehbahnen verkümmern, sofern sie durch Reize nicht stimuliert werden. Die Verlagerung der Aufmerksamkeit in bestimmte Gesichtsfeldareale ohne Kopf- oder Blickwendung hingegen erniedrigt die Wahrnehmungsschwelle für diesen Bereich. Die prinzipielle Trennung zwischen visueller Fixation und Aufmerksamkeitsfokussierung für einen bestimmten Gesichtsfeldbereich ist seit etwa 100 Jahren bekannt. In der angelsächsischen Literatur vergleicht die Metapher des „attentional spotlight“ die selektive und verschieden ausrichtbare Aufmerksamkeit im Gesichtsfeld mit einem schwenkbaren Scheinwerfer. Wagner (1918) beschreibt bereits:

„Auch beim gewöhnlichen Sehen ist das Gesichtsfeld beständig von einer Menge von Gegenständen angefüllt, die sich peripher auf der Netzhaut abbilden, die aber im Hintergrund des Bewußtseins bleiben, da sie nicht alle gleichzeitig von der Aufmerksamkeit erfaßt werden können. Wendet sich ihnen bei starrer Fixation des Auges die Aufmerksamkeit zu, so können sie in den Blickpunkt des Bewußtseins treten. Dasselbe ist auch bei Wörtern der Fall. Bei Fixation der Mitte einer Buchseite kann ein größerer Bezirk des Gesichtsfeldes zur Auffassung gelangen, wenn sich die Aufmerksamkeit den peripheren Gebieten zuwendet.“

Heinze (1994) und Schiefer et al. (1996) weisen diesen Umstand physiologisch nach. Als mögliche Erklärung wird u.a. das Prinzip der Hebb'schen Synapse genannt, welches besagt, dass die Impulsübertragung im ZNS an einer Verbindungsstelle gesteigert wird, wenn an dieser mehrere Impulse aus verschiedenen ZNS-Regionen einlaufen. Als einer dieser zusätzlichen Impulse wird die selektive Aufmerksamkeit genannt. Schmielau (1989) konnte an zwei Patienten den Gesichtsfeldausfall durch Hirninfarkt deutlich minimieren, indem er die Aufmerksamkeit selektiv auf die Gesichtsfeldgrenze lenkte und dort visuelle Stimuli setzte.

Zihl et al.(1978) zeigten bereits vor 30 Jahren, dass es neben der spontanen Erholung von Gesichtsfeld- und anderen Sehdefekten eine zerebrale Rehabilitation dieser Defekte gibt, die durch regelmäßiges Training erzielt werden kann. So konnte an einer Patientin mit angiographisch gesichertem Verschluss der A. posterior cerebri ein anhaltender Gesichtsfeldzuwachs von 6° Exzentrizität erreicht werden. Die Trainingsmethode bestand in der zweimonatigen wiederholten Darbietung von Lichtreizen an der Grenze zum Gesichtsfelddefekt. Die Intensität der Reize wurde dabei schrittweise erhöht. Nach Abschluss des Trainings konnte die Patientin immer schwächere Lichtreize erkennen. In seiner Habilitationsschrift zeigte Zihl (1980), dass von 16 Patienten mit der o.g. Methode die Hälfte einen Gesichtsfeldzuwachs von 5° und mehr auf dem trainierten Meridian erreichen konnte. Der Therapieansatz des Reaktionszeitperimeters LRP folgt wesentlichen Erkenntnissen dieser in der Literatur als klassisch angesehenen Arbeit von Zihl et al. (1978) in der Zeitschrift „Nervenarzt".

Einige wichtige Zitate aus dieser Arbeit sollen hier wiedergegeben werden:

- „einen wichtigen Faktor für die erfolgreiche Restitution visueller Funktionen stellt die visuelle Aufmerksamkeit dar, die sehr selektiv auf bestimmte Areale im Gesichtsfeld gerichtet werden kann und dadurch zur Veränderung von Wahrnehmungsschwellen führt."
- „als Grundlage für die [...] erzielte Restitution visueller Funktionen kann die Aktivierung erhaltener kortikaler Neurone im Läsionsbereich angesehen werden."

1.5 Visuelle Rehabilitation mit dem LRP

Das Prinzip der selektiven Aufmerksamkeitsausrichtung auf geschädigte Gesichtsfeldareale ist Grundlage des Lübecker Reaktionszeitperimeters (LRP). Es unterscheidet sich von anderen Perimetern durch folgende Eigenschaften:

- Das LRP ist kein reines Diagnostik-Perimeter. Es ist Diagnostik- und vor allem Therapieinstrument. Es findet seine Anwendung in der Neurorehabilitation, z.B. bei Sehstörungen nach Schlaganfall.

- Am LRP besteht die Prüffläche, auf der die vom Patienten zu erkennenden grünen Leuchtdioden (LED) aufleuchten, aus einer 1,4 m breiten schwarzen Halbkugel. Somit wird auch die Gesichtsfeldperipherie (90°) des Patienten mit abgedeckt. Der Durchmesser wurde so groß gewählt, um Akkomodationsprobleme der Probanden zu minimieren.

- Vor Darbietung der LED erfolgt in einem randomisierten Intervall ein akustisches Signal zur allgemeinen Aufmerksamkeitssteigerung und Verhinderung von Übermüdung.

- Die Dichte der LEDs auf der schwarzen Halbkugel, damit auch die diagnostische Auflösung, ist im Vergleich zu konventionellen Perimetern sehr hoch; der Abstand zueinander beträgt 3°.

- Als zu ermittelndes Leistungsmaß dient nicht die Lichtunterschiedsempfindlichkeit, sondern die einfache Reaktionszeit (sog. simple reaction time, SRT) zwischen Aufleuchten der LED und der Patientenreaktion mittels Knopfdruck. Entsprechend kann die Anzahl von nicht erfolgten Reaktionen (Fehlreaktionen) sowie von zu frühen oder zu späten Reaktionen ermittelt werden. Die SRT ist ein in der Wahrnehmungspsychologie übliches Leistungsmaß des visuellen Systems. Sie ist definiert als schnellstmögliche Reaktionen auf das Erscheinen eines (optischen) Reizes, beispielsweise per Reaktionstaste(Strasburger 2003).

Abbildung 1.4 stellt das LRP in Form eines Fotos dar.

Abbildung 1.4. Lübecker Reaktionsperimeter (LRP) nach Schmielau (1993, 1997).

Teichner und Krebs (1972) unterteilten die SRT in eine sensorische und motorische Komponente. Unter der Annahme einer weitgehend konstanten motorischen Komponente werteten sie Variationen der SRT als sensorisch bedingt. Für die SRT gelten einige wichtige Gesetzmäßigkeiten:

- Je höher die Leuchtdichte des visuellen Stimulus, desto niedriger ist die Reaktionszeit des Probanden.

- Je kürzer die Darbietungszeit des visuellen Stimulus, desto länger ist die Reaktionszeit.

- Mit steigender Gesichtsfeldexzentrizität steigt die Reaktionszeit.

- Im Vergleich ergeben sich bei binokularer Testung niedrigere Reaktionszeiten als bei monokularer Testung.

- Geschädigte zerebrale Areale leiten das Signal von der Retina langsamer.

Die SRT wird von vielen Autoren als zuverlässiges Maß für die Quantifizierung zerebraler Schäden bezeichnet. Blackburn und Beton (1955) beschrieben die Zunahme der SRT bei durch Trauma oder Erkrankung hirngeschädigten Patienten im Vergleich zu einer gesunden Referenzgruppe. Collins und Long (1996) verglichen an hirngeschädigten Patienten die SRT mit den Ergebnissen von neuropsychologischen Tests, beispielsweise der „Halstead-Reitan Neuropsychological Test Battery“, zur Quantifizierung kognitiver Fähigkeiten. Die SRT erwies sich dabei als ähnlich aussagekräftig wie die neuropsychologischen Tests. Es wurde sogar deren Ergänzung um die SRT vorgeschlagen. Insgesamt geht bei zahlreichen Studien eine zerebrale Schädigung mit erhöhten SRT-Werten einher.

Folglich dient die SRT am LRP als zuverlässiges Leistungsmaß für die Diagnostik von Gesichtsfelddefekten zerebral geschädigter Patienten.

Am LRP wird das Gesichtsfeld am Übergang zwischen geschädigtem und noch intaktem Bereich trainiert. Zunächst erfolgt eine genaue Diagnostik des Gesichtsfeldes mit seinen Schädigungen. Anhand der dann erstellten Gesichtsfeldlandkarte wird der Trainingsbereich festgelegt.

Das Prinzip, die Aufmerksamkeit auf nicht intakte Bereiche zu lenken, ist in anderen Teilen der Neurorehabilitation nicht unbekannt. So wird bei Schlaganfallpatienten mit Hemiparesen der Nachtschrank samt Bettisch bewusst auf der kranken Seite platziert, um die Aufmerksamkeit auf diese zu richten.

Grundsätzlich gibt es nach zerebralen Läsionen der Sehbahn Spontanerholungen, welche oft schon nach wenigen Tagen zumindest zu spontanen Teilremission der Gesichtsfelddefekte führen. Schmielau (1989) führte jedoch an einem Patienten 17 Jahre nach Hirninfarkt ein Gesichtsfeldtraining durch, welches zu einer Verkleinerung des Gesichtsfelddefektes führte. Eine Spontanerholung nach 17 Jahren erschien als Erklärung nicht plausibel. Auch Zihl et al. (1978) schlossen Spontanremissionen bei Patienten mit alten Läsionen aus, da erst mit dem visuellen Training - zuvor aber nicht - Verkleinerungen der Gesichtsfelddefekte erzielt wurden. Bereits Poppelreuter (1917) betont, dass nach drei bis sechs Monaten Spontanremissionen bei Gesichtsfelddefekten selten werden. Diese Ansicht ist heute allgemein anerkannt. Bei Patienten mit frischen Läsionen sollte die Spontanremission jedoch als Teilaspekt bedacht werden.

Schmielau (1994) zeigte die Effizienz des LRP an einer Pilotstudie mit 11 Patienten bei traumatisch oder zerebrovaskulär bedingter Hemianopsie. Bei 6 von ihnen konnte sogar ein Gesichtsfeldzuwachs von mehr als 20° erreicht werden. Hierfür waren jedoch auch ungefähr 50 Trainingssitzungen nötig. Die longitudinale Stabilität konnte an einer Studie mit 80 Patienten zwischen 17 und 81 Jahren mit post-genikulären Schäden gezeigt werden. Die Mehrzahl der Patienten zeigten signifikant stabile Verbesserungen der Sehfunktionen [Schmielau et al. 1998].

In einer anderen Studie mit 30 Schlaganfallpatienten (durchschnittlich 54 Jahre alt) konnte bei 28 ebenfalls eine stabile Verbesserung des Gesichtsfeldes nachgewiesen werden [Schmielau 1997].

Abweichend von den Aussagen Zihls sind nach Schmielau (1992) jedoch mindestens 50 Trainingssitzungen zur Erweiterung von geschädigten Gesichtsfeldern notwendig. Die Compliance des Patienten ist also ein begrenzender Faktor.

Schmielau und Wong (2007) zeigten in einer weiteren Studie von 20 Patienten mit ischämischem oder hämorrhagischem Insult einen signifikanten Gesichtsfeldzuwachs nach durchschnittlich 73 Trainingseinheiten am LRP. Dabei wurde die Gesichtsfeldgröße im Trainingsverlauf sowohl statisch (mittels LRP) als auch kinetisch (mittels Tübinger Perimeter) bestimmt.

Bei 15 Patienten konnte, kinetisch gemessen, ein Zuwachs von durchschnittlich 11,3°, statisch von durchschnittlich 18,6% (bezogen auf 100% eines intakten Hemifeldes) erzielt werden. Zeitlich waren diese Ergebnisse oft über viele Jahre stabil. Bei monokularem Training waren auch binokulare Erfolge zu verzeichnen, woraus geschlossen wurde, dass die Ursache des Gesichtsfeldzuwachses kortikalen Ursprungs ist.

Die den Trainingserfolgen zugrunde liegenden physiologischen Grundlagen sind diffizil und bei Weitem noch nicht geklärt. Neuesten tierexperimentellen Erkenntnissen zufolge ist das ZNS jedoch mehr zur Nervenzellneubildung in der Lage als bisher angenommen. Carmicheal et al.(2006) stellten auf dem Weltkongress für Neurorehabilitation in Hong Kong Ergebnisse vor, bei dem sie sog. neurovaskuläre Nischen beobachteten. Durch an Mäusen gesetzten künstlichen Schlaganfällen konnte zunächst die Neubildung von Gefäßen, dann auch von Nervenzellen beobachtet werden. Dabei konnte die Arbeitsgruppe zahlreiche Botenstoffe ausfindig machen.

1.6 Fragestellungen

Für das LRP liegen bisher keine exakten Referenzwerte hinsichtlich der Diagnostik von Gesichtsfeldern normaler Probanden vor. Ziel dieser Arbeit war es daher, anhand von Perimetrien an gesunden Personen diese Referenzwerte zu ermitteln. Konkret wurde folgenden Fragen nachgegangen:

1.) Wie sieht die Reaktionszeitverteilung im Gesichtsfeld von Personen ohne zerebrale Läsionen aus? Gibt es Unterschiede hinsichtlich des Alters und Geschlechtes?

2.) Haben Alter und Geschlecht einen Einfluss auf die Anzahl der Früh-, Spät- und Fehlreaktionen?

3.) Gibt es eine Korrelation zwischen Visus und Reaktionszeit? Wird also das LRP dem Anspruch gerecht, auch bei Patienten mit niedrigem Ausgangsvisus (z.B. nach Schlaganfall!) ohne Visuskorrektur Diagnostik und Training ermöglichen zu können?

4.) Wie sehen hochauflösende dreidimensionale Darstellungen von Gesichtsfeldern bei Probanden ohne zerebrale Läsionen aus? Ist das Gesichtsfeld homogen oder inhomogen strukturiert?

5.) Schließlich soll anhand von Fallbeispielen am Ende illustriert werden, wie pathologische Gesichtsfelder mit dem LRP erfasst werden können.

2. Material und Methoden

2.1 LRP

Das Lübecker Reaktionszeitperimeter (LRP) setzt sich aus einer Messeinheit sowie einer Steuer- und Auswertungseinheit zusammen.

Die Messeinheit besteht aus einer glasfaserverstärkten schwarzen Kunststoffhalbkugel von 1,40 m Durchmesser. Über Bohrungen sind 1536 grüne Leuchtdioden (LED) in diese Kunststoffhalbkugel eingelassen. Der Durchmesser der einzelnen LEDs beträgt jeweils 30', der Abstand zueinander 3° in Azimut und Elevation.

Im Zentrum der Halbkugel sitzt eine permanent leuchtende rote Diode, darunter eine Bohrung mit einer Videokamera. Über eine Haltevorrichtung ist eine justierbare Kinnstütze mit Stirnstütze 0,7 m vor dem Kugelpol angebracht.

Die Steuer- und Auswertungseinheit besteht aus einem Steuerungs-PC, welcher über eine elektronische Schnittstelle (Interface) mit der Perimeterhalbkugel verbunden ist. Über den Computer erfolgen Steuerung, Ergebnisdarstellung- und Auswertung sowie Ergebnisspeicherung. Das Steuerungsprogramm am PC arbeitet mit der Anwendungssoftware ab Windows 95 ®, enthält jedoch ein eigens für das LRP entworfenes und geschriebenes Programm von Thomas Schmielau (1996). Über dieses Programm können neben der Diagnostik auch komplexe selbstadaptierende Trainingsalgorithmen initiiert werden. Letztere finden jedoch keinen Eingang in diese Arbeit.

Das LRP basiert auf dem deutschen Gebrauchsmuster [Schmielau 1993] und ist geschützt durch ein US-Patent (1997) sowie ein europäisches Patent (1997)und wurde 2003 auf der Medizintechnikmesse MEDICA vorgestellt. Ein baugleiches Gerät wird in den Segeberger Kliniken zur visuellen Neurorehabilitation verwendet. Vorläufer ist ein von U. Wiegmann (1992) nach den Vorstellungen von Schmielau manuell angefertigtes Perimeter (LRP II).

Das LRP arbeitet nach dem Prinzip der statischen Perimetrie. Es sei erwähnt, dass das LRP für spezielle Zwecke auch in anderen Modi arbeiten kann. So kann beispielsweise auch eine kinetische Perimetrie durchgeführt werden.

Der Proband oder Patient, im Folgenden nur noch als Proband bezeichnet, nimmt auf einem bequemen Stuhl Platz und stützt seinen Kopf während der Messung auf die Kinnstütze. Entsprechend des zu vermessenden Auges wird dieses durch Verschieben der Kinnstütze in horizontaler und vertikaler Richtung genau auf das Perimeterzentrum und somit die rote LED am Perimeterpol ausgerichtet. Über die o.g. Kamera wird die korrekte zentrale Lage des Auges zum Perimeterzentrum vor und während der Messung überwacht.

Wie eingangs bereit erwähnt, muss am LRP schnellstmöglich auf eine aufleuchtende grüne LED mittels Druck auf eine Taste reagiert werden.

Am LRP ist die Reaktionszeit auf eine aufleuchtende LED die zu bestimmende Messgröße. Diese Reaktionszeit entspricht der im Kapitel „Einleitung“ beschriebenen simple reaction time (SRT). Es sei nochmals erwähnt, dass diese sich aus einer sensorischen und einer motorischen Komponente zusammensetzt. Unter der Annahme der konstant motorischen Komponente verbleibt die sensorische Komponente als zu bestimmende Variable. Wesentlicher Bestandteil der sensorischen Komponente ist die Aufmerksamkeit. Diese wird auf einem möglichst hohen Niveau gehalten durch:

- ein akustisches Signal vor Aufleuchten der LED

- die sogenannte Nachlaufzeit (s.u.)

- kurze Pausen während der Messung alle fünf Minuten.

2.2 Zeitintervalle

Als Leuchtintervall wird das Intervall zwischen Akustiksignal und Aufleuchten der Leuchtdioden bezeichnet. Zur Vermeidung von Lerneffekten ist seine Dauer randomisiert und liegt zwischen 500 und 2000 ms, vgl. hierzu Abbildung 2.1. Die Randomisierung erfolgt über den PC.

Die Leuchtdauer der jeweiligen LED beträgt immer 100 ms. Diese Darbietungszeit fordert das Bloch'sche Gesetz, welches für Zeiten bis 100 ms gilt. Es besagt, dass Zeit und Reizstärke abhängig voneinander sind. Dabei gilt für T (Darbietungszeit) und I (Reizstärke) T·I = const.

Mit Darbietungszeiten über 100 ms sind Darbietungszeit und Reizstärke allerdings unabhängig voneinander. Außerdem ist die Leuchtdauer kürzer als die Latenz von sakkadischen Augenbewegungen (ca. 200 ms).

Die Position der jeweils aufleuchtenden LED wird - wie das Leuchtintervall vom PC - randomisiert und entzieht sich dem Einfluss des Untersuchers. Der PC steuert selbstständig die zur Messung verwendeten LED an. Weder die Position noch die Reaktionszeit der vorherigen LED haben Einfluss auf die weitere Messung.

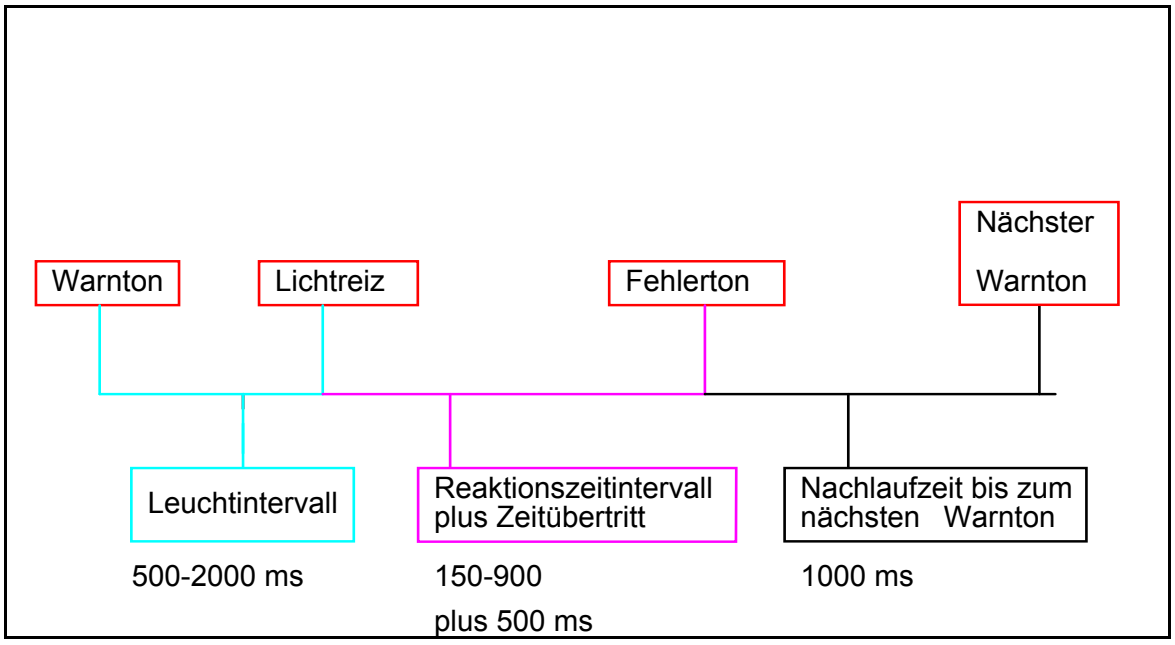

Abbildung 2.1. Messalgorithmus zur Perimetrie mit den dazugehörigen Zeiten und Intervallen. Die Zeitangaben in ms beziehen sich auf das jeweilige Intervall und sind keine fortlaufenden Größen.

Jede LED wird innerhalb einer Messung vom PC nur einmal angesteuert.

Die Leuchtintensität der LED ist variabel einstellbar, bleibt jedoch während der Messung stets gleich und liegt im überschwelligen Bereich (siehe Kapitel Einleitung). Für Patienten mit ZNS-Läsionen kann diese jedoch, insbesondere zu Trainingszwecken, individuell eingestellt werden. Es sei nochmals an die Gesetzmäßigkeit der SRT erinnert, wonach hellere Lichtreize schnellere Reaktionen bedingen. Dies gilt entsprechend auch am LRP. Die Leuchtintensität war zwecks Vergleichbarkeit stets gleich eingestellt.

Der Proband hat nun in einem vordefinierten Zeitintervall nach Aufleuchten der LED die Möglichkeit per Druck auf die Reaktionstaste zu reagieren. Dieses Intervall beginnt 150 ms nach Aufleuchten der LED und endet 900 ms nach diesem. Es wird als „Reaktionszeitintervall" bezeichnet. Mit anderen Worten muss zwischen 150 und 900 ms nach Aufleuchten der LED eine Reaktion erfolgen.

Die obere Intervallgrenze von 900 ms ergibt sich zunächst aus der Empirik vorheriger Studien am LRP (Schmielau 2001) und berücksichtigt mögliche Reaktionszeiterhöhungen von Patienten mit zerebralen Schäden hinreichend, zumal die einfache Reaktionszeit (SRT) auf visuelle Stimuli in anderen Studien auf durchschnittlich 180 ms beziffert wird (Teichner und Krebs 1972).

Bei Patienten mit erwartungsgemäß höheren Reaktionszeiten infolge zerebraler Schäden konnte die obere Grenze des Reaktionszeitintervalls heraufgesetzt werden.

Eine Reaktionszeit von unter 150 ms wird nicht akzeptiert und als „Frühreaktion" gewertet. Diesem Vorgehen liegt die Überlegung zugrunde, dass Frühreaktionen physiologisch nicht möglich sind und vor allem durch „unselektives Dauerdrücken" des Probanden auf den Knopf zustande kommen. Dies wäre eine Art „Überlistungsstrategie" des Probanden und keine Reaktionen unter 150 ms. Erfolgt keine Reaktion innerhalb von 900 ms, so gibt es zwei Möglichkeiten:

1.) Der Proband bekommt eine „letzte Chance" von weiteren 500 ms nach Ablauf des Reaktionszeitintervalls zum Reagieren. Diese 500 ms werden als „Zeitübertritt" bezeichnet. Wenn dies geschieht, wird diese Reaktion als sog. „Spätreaktion" bezeichnet.

Sie erfolgte noch innerhalb von insgesamt 1400 ms nach Aufleuchten der LED (900 ms Reaktionszeitintervall plus 500 ms Zeitübertritt). Diese Art der Reaktion wird in ihrem absoluten Wert in ms berücksichtigt und gleichzeitig als Spätreaktion registriert und gezählt. Das Intervall des „Zeitübertritts“ wurde aufgeführt, um beispielsweise verlängerte Reaktionen infolge Aufmerksamkeitsstörungen oder motorischer Beeinträchtigungen bei Mediainsult zu berücksichtigen.

2.) Der Proband oder Patient reagiert auch innerhalb des Zeitübertrittes nicht. In diesem Fall wird eine „Fehlreaktion” verzeichnet. Es ertönt ein Akustiksignal zur Darstellung eines Misserfolges. Bei Patienten ertönt dieses Signal nicht, um die Motivation für Diagnostik und Training durch Frustration nicht zu mindern.

Diese Bewertungen werden vom PC automatisch vorgenommen und dem Untersucher am Ende der Messung dargestellt.

Nach erfolgter korrekter Reaktion, Spätreaktion oder aber Fehlreaktion vergeht ein Intervall von 1000 ms, die sog. „Nachlaufzeit“, bis zum nächsten Akustiksignal und damit dem Beginn der Ansteuerung einer anderen LED.

Dies ist erforderlich, damit der Proband sich kurz erholen und somit erneut auf hohem Niveau reagieren kann.

2.3 Graphische Darstellung des Gesichtsfeldes

Die Perimeterhalbkugel ist ähnlich einem Globus in Koordinaten (Azimut und Elevation) eingeteilt, so dass jede LED eine feste Positionsangabe hat. Für jede Koordinate verzeichnet und speichert der PC die Reaktionszeit der entsprechenden LED. Dies erfolgt in absoluten Werten in ms und kann graphisch in zwei- und dreidimensionaler Form dargestellt werden. Farbintervalle dienen dabei der besseren Ergebnisdarstellung. Weitere Details der Ergebnisdarstellung werden im Kapitel „Ergebnisse“ beschrieben. Die Abbildung 2.2. zeigt eine leere Gesichtsfeldmatrix zur graphischen Darstellung der Ergebnisse. Abbildung 2.3 zeigt exemplarisch das gemittelte Gesichtsfeld einer Gruppe in zwei- und dreidimensionaler Darstellung.

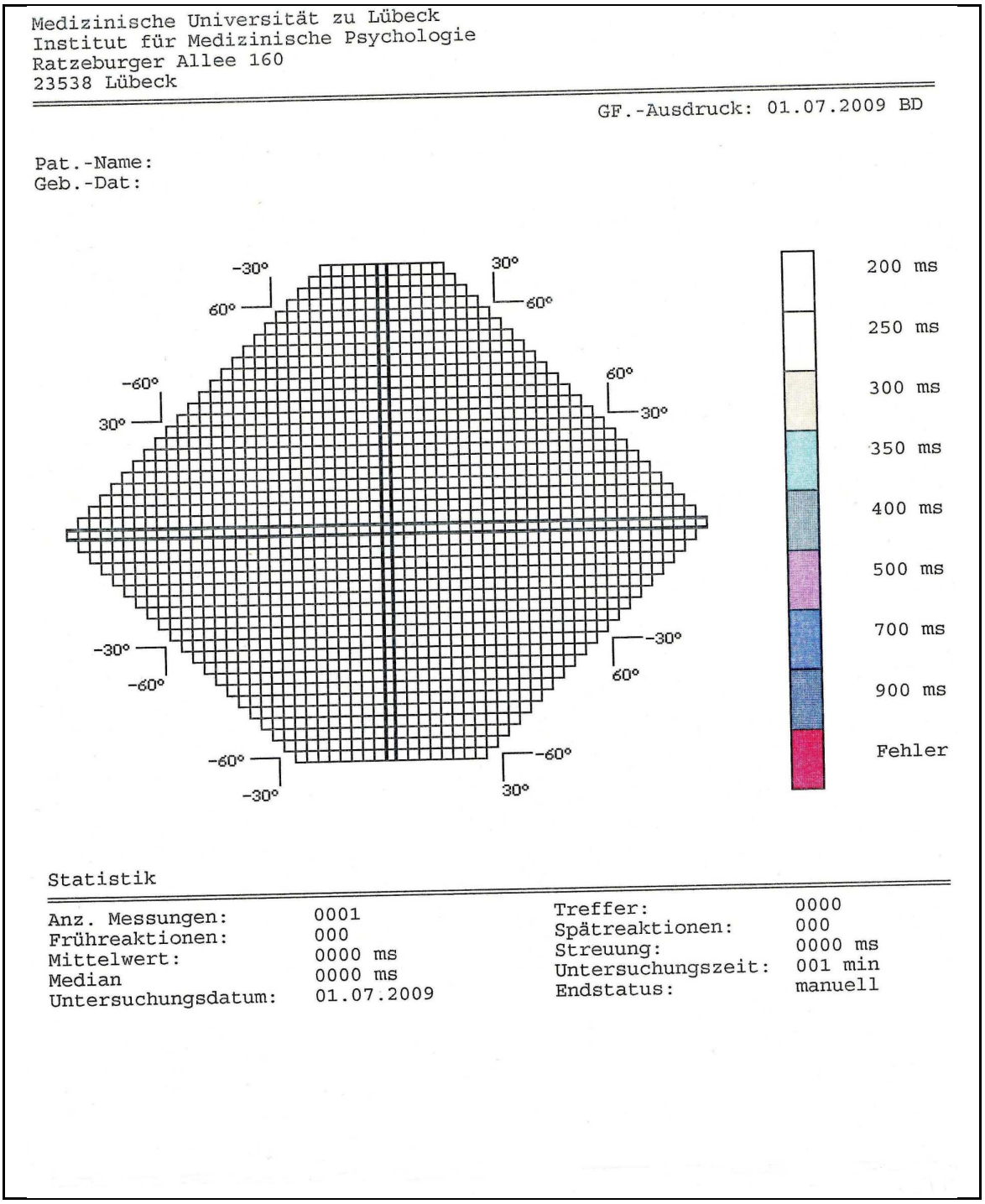

Abbildung 2.2. Beispiel für ein LRP-Formular mit - hier leerer - Gesichtsfeldmatrix, Farblegende für Reaktionszeiten und statistischer Auswertung.

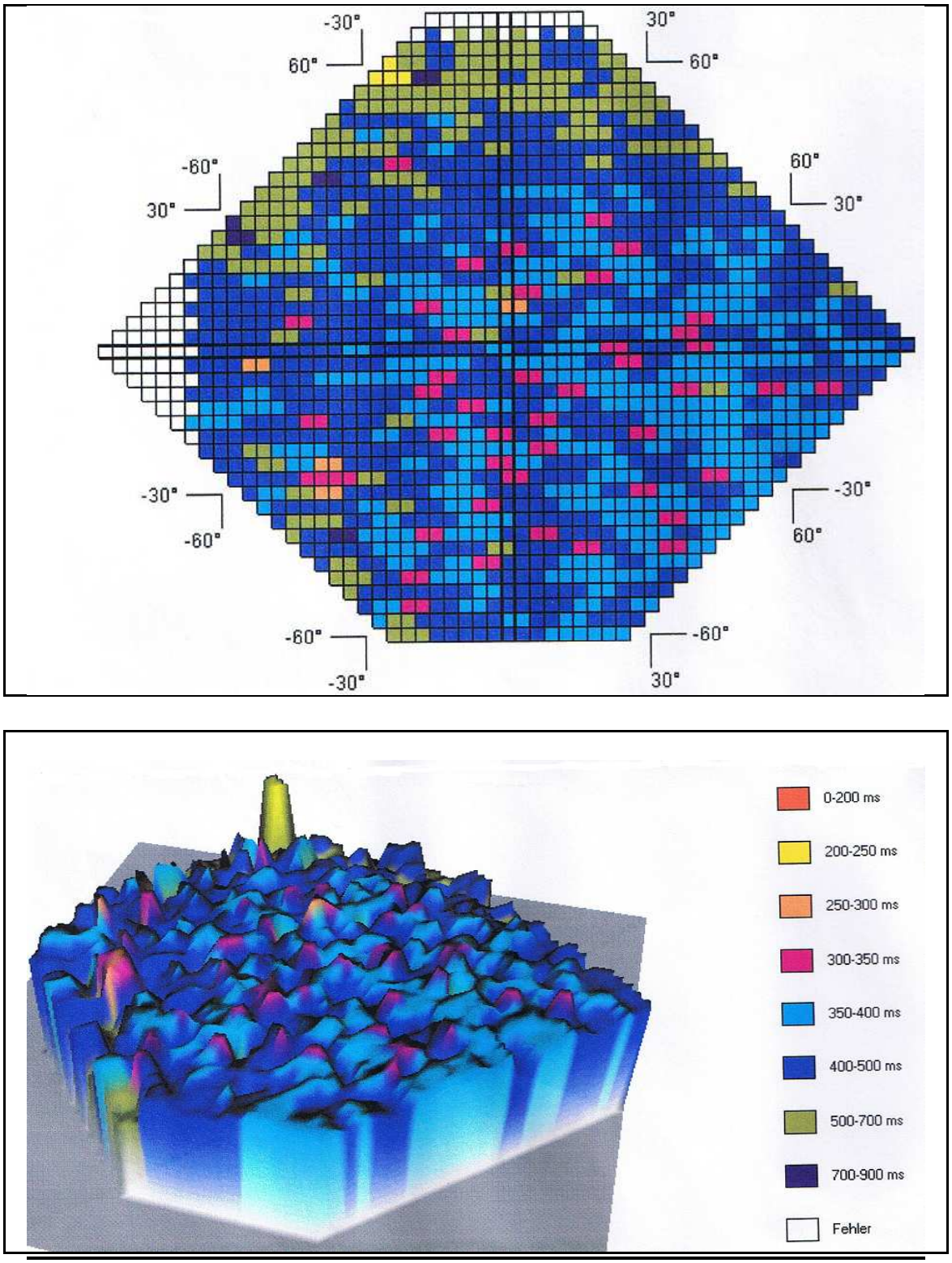

Abbildung 2.3. Beispiel einer gemittelten zwei- und dreidimensionalen Gesichtsfeld-darstellung, hier für Frauen zwischen 50 und 59 Jahren.

2.4 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv beinhaltet „gesunde Personen“ zur Erstellung von Referenzwerten am LRP und erfüllt vordefinierte Auswahlkriterien. Die Probanden rekrutierten sich aus der Familie des Verfassers, Hochschulinstituten sowie Freiwilligen, die sich auf öffentliche Aushänge gemeldet haben. Sie erhielten eine pauschale Unkostenvergütung von zehn Euro.

Das Kollektiv beinhaltet einen breiten Querschnitt verschiedener sozialer Schichten und Berufe: arbeitslose Personen, Auszubildende, Ärzte, Fließbandarbeiter, Gastwirte, Hochschullehrer, Kraftfahrer, Künstler, Pädagogen, Rentner, Sekretärinnen, Studenten etc.

Nur Messungen von Probanden ohne LRP-Erfahrung gingen in die Wertung ein. Das Probandenkollektiv dieser Arbeit setzt sich zusammen aus 73 Personen im Alter von 20 bis 94 Jahren. Die Altersklassen der Probanden wurden wie folgt eingeteilt:

Altersklasse 1 = 20-29 Jahre
Altersklasse 2 = 30-39 Jahre
Altersklasse 3 = 40-49 Jahre
Altersklasse 4 = 50-59 Jahre
Altersklasse 5 = 60-69 Jahre

Jede Altersklasse wiederum wurde zu statistischen Zwecken nach Geschlechtern in zwei Untergruppen getrennt. Jede Untergruppe besteht aus sieben Probanden, ausgenommen die jeweiligen Untergruppen „20-29 Jahre“ bzw. „50-59 Jahre“ mit jeweils acht Probanden. Die Altersgruppe über 70 Jahre besteht insgesamt aus einem männlichen Probanden und drei weiblichen. Wegen der geringeren Probandenstärke erfolgt die Darstellung dieser Altersgruppe getrennt von den anderen.

Von den ursprünglich 78 Probanden mussten fünf im weiteren Verlauf ausgeschlossen werden. Darunter eine 94-jährige Probandin, die zur Hälfte starke Ermüdungserscheinungen zeigte. Ihre Messung wurde jedoch als Einzelfalldarstellung aufgenommen. Eine andere Patientin wurde aufgrund von fokal neurologischen Ausfällen bereits zu Beginn von der Messung ausgeschlossen und unmittelbar an eine neurologische Ambulanz verwiesen. Von drei Probanden konnten die Messungen aufgrund mangelnder Reliabilität nicht berücksichtigt werden. Vgl. hierzu Abbildung 2.4.

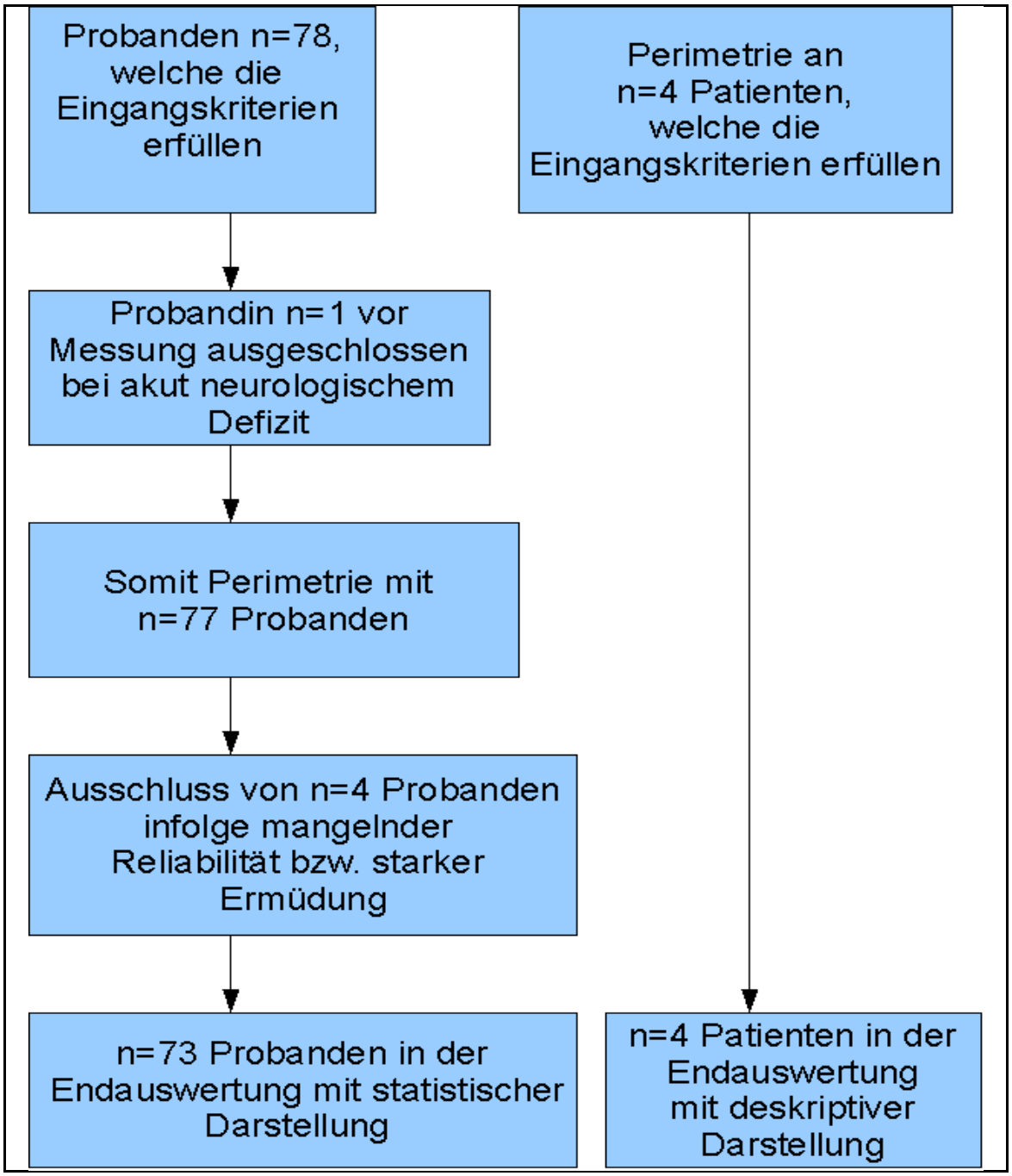

Abbildung 2.4. Flussdiagramm zur Darstellung des Probanden- und Patientenkollektives .

2.5 Auswahlkriterien

Für die Probanden der Referenzgruppe galten folgende Auswahlkriterien:

- Alter ab 20 Jahren
- Kein bekanntes Glaukom oder Vorkommen von Glaukomen bei Verwandtschaft ersten Grades
- Visus ohne Korrekturglas auf dem zu untersuchenden Auge von mindestens 0,5 für eine Entfernung von 0,7 Meter (entspricht dem Abstand Probandenauge-Perimeterpol)
- Keine schwere Augenverletzung in der Vorgeschichte
- Keine Multiple Sklerose
- Keine Schlaganfälle, TIA's etc.
- Keine neurochirurgischen Eingriffe, keine Tumoren des ZNS
- Kein Anfallsleiden sowie keine Einnahme von Psychopharmaka wie Neuroleptika, Antidepressiva oder sedierende Substanzgruppen (z.B. Benzodiazepine)
- Keine Farbschwäche, die nach den Tafeln von Ishihara diagnostizierbar ist
- Kein Strabismus, der mit den Probetafeln nach DIN diagnostizierbar ist
- Keine Unterdrückung eines Auges im simultanen Sehen
- Keine schwerwiegenden Liderkrankungen oder extraokuläre Anomalien, die das Gesichtsfeld einschränken könnten
- Keine Einnahme von stimulierenden Substanzen wie Kaffee unmittelbar vor der Messung

Im Gegensatz zu zahlreichen anderen Arbeiten für Perimeter, z.B. [Bachmayer 1993], [Grubwinkler 1996] erfolgte für das Probandenkollektiv keine vorausgehende Messung des Augeninnendruckes zum „Glaukomscreening“. Dieser Überlegung liegt zugrunde, dass

- nicht alle Glaukomerkrankungen erhöhten Augeninnendruck vorweisen, sog. Niedrigdruckglaukom
- es zeitabhängige Schwankungen des Augeninnendruckes gibt
- nicht jeder Patient mit okulärer Hypertension (z.B. über 21 mmHg) glaukomatöse Schäden entwickelt [Lachenmayr und Vivell 1992].

Statt dessen wurden anamnestisch mögliche augendruckverändernde Medikamente oder glaukomatöse Erkrankungen bei der Verwandtschaft ersten Grades erfragt.

Im Gegensatz zu zahlreichen anderen Arbeiten wurden Probanden mit Katarakt nicht ausgeschlossen. Statt dessen hat man in dieser Arbeit den Visus ohne Korrekturglas als Auswahlkriterium genommen und hätte somit hochgradige Katarakterkrankungen über den Visus „herausfiltern“ können.

Dieses Vorgehen ergibt sich daraus, dass die meisten grauen Stare Altersstare sind und je nach Standpunkt auch als physiologischer Alterungsprozess angesehen werden können. Im Lehrbuch „Perimetrie“ [Lachenmayr und Vivell 1992] wird die grundsätzliche Problematik von Referenzwerterhebungen folgendermaßen beschrieben:

„Die Erstellung von Normalwerten birgt viele Probleme in sich: Zunächst ist es letztlich willkürlich, wo die klinischen Grenzen zwischen normal und pathologisch gezogen werden [...]. Dies gilt vor allem für die höheren Altersgruppen, da dort zunehmend durch den physiologischen Alterungsprozeß Probleme hinsichtlich der Sehschärfe, der Medientrübungen etc. auftreten.”

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, ist beim LRP ja gerade die Leuchtdichte der LEDs hoch angesetzt, so dass beispielsweise auch sehbehinderte Insultpatienten diese zu Trainingszwecken noch erkennen können.

2.6 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv mit n=4 Patienten erfüllt, wie bereits beschrieben, die Aufgabe der exemplarischen Darstellung von pathologischen Gesichtsfeldern. Es rekrutierte sich aus Patienten, die gerade ein neuropsychologisches Training am LRP am Institut für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation erhielten. Patienten erhalten vor und während des neuropsychologischen Trainings eine Erst- und Verlaufsdiagnostik mit perimetrischer Vermessung des Gesichtsfeldes am LRP. Die vorliegende Arbeit war nicht Anlass zur Perimetrie. Die meisten Patienten haben zuvor einen stationären Aufenthalt in einer neurologischen Klinik durchlaufen, so dass umfangreiche Befunde wie CT oder MRT vorlagen. Die Patientengruppe ist inhomogen bezüglich sehbehindernder Grunderkrankungen und Trainingserfahrungen. Des Weiteren erforderten die unterschiedlichen Erkrankungen individuelle Messbedingungen. Aus diesem Grunde werden die Gesichtsfelder dieser Gruppe nicht direkt mit denen des Probandenkollektivs verglichen.

Vielmehr dient die Patientengruppe als eine Zusammenstellung ausgewählter Fallbeispiele und soll Gesichtsfelder von Patienten mit ZNS-Läsionen illustrieren.

Da Patienten mit ZNS-Läsionen ja gerade häufig sehbehindert sind, konnten nicht dieselben Auswahlkriterien wie bei den Probanden zugrunde gelegt werden. Für sie galten die folgenden Auswahlkriterien:

1.) Die Ursache des Gesichtsfelddefektes musste zentral bedingt sein.

2.) Die Patienten durften neben ihrer zentralen, gesichtsfeldbeeinträchtigenden Grunderkrankung keine weitere unter 1.) fallende Erkrankungen haben. Das Patientenkollektiv umfasst nur Insulte und ZNS-Tumoren. Patienten mit ophthalmologischen Krankheitsbildern, wie z.B. Netzhautablösung, wurden für die Arbeit nicht berücksichtigt.

2.7 Messablauf

Messungen in den frühen Morgenstunden, den späten Abendstunden sowie beispielsweise im Anschluss an Nachtschichten wurden möglichst vermieden. Welford (1980) beschrieb eine Zunahme der simple reaction time (SRT) bei Müdigkeit, somit verlängert Müdigkeit auch die Reaktionszeiten am LRP. Aufgrund individueller Tagesabläufe konnte jedoch bei den Probanden kein einheitliches Konzentrationsniveau geschaffen werden. Nach den weiter unten aufgeführten Voruntersuchungen für die Ein- und Ausschlusskriterien erfolgte eine ausführliche Unterrichtung über den Ablauf der Perimetrie. Insbesondere wurden die Probanden ausdrücklich dazu aufgefordert, schnellstmöglich nach Aufleuchten der LED zu reagieren. Die Art der Instruktionen vor einer Perimetrie wirken sich häufig auf deren Ergebnis aus [Kutzko et al. 2000].

Die Messung wurde jeweils nach fünf Minuten durch eine einminütige Pause unterbrochen. Die Erfahrung am LRP hatte gezeigt, dass ohne Pausen häufig Symptome wie Augentränen, Verschwimmen und Doppelbildern auftreten.

Während im Probandenkollektiv Dauer und Anzahl der Pausen gleich waren, wurden diese im Patientenkollektiv je nach Belastbarkeit und Krankheitsbild verändert.

Vor der eigentlichen Hauptmessung erfolgte ein kurze Übungsphase von fünf Minuten Dauer, welche jedoch nicht in die Ergebnisse einbezogen wurden. Somit konnten sich die Augen somit an die dunkleren Verhältnisse des Raumes gewöhnen (Adaptation). Die Umgebungsleuchtdiche des Perimeterhintergrundes betrug ca. 1,5 cd/m², einem mesopischen Adaptationsbereich entsprechend. Die Leuchtstärke der LEDs betrug etwa 15 cd/m².

Während sämtlicher Messungen war derselbe Untersucher zur Überwachung im Raum anwesend. Es erfolgte keine Verabreichung von Medikamenten zu Studienzwecken. Eine Zustimmung der Ethikkommission zu Gesichtsfeldvermessungen am LRP liegt vor. Die Probanden und Patienten wurden darüber aufgeklärt, dass die Daten geschützt verwertet werden und Perimetriebefunde beispielsweise nicht dem Arbeitgeber zugänglich gemacht werden. Sie gaben jedoch das Einverständnis zur anonymen Publikation ihrer Ergebnisse.

Vor Beginn der Perimetrie wurden die Probanden und Patienten nach einem standarisierten Schema zu Grunderkrankungen sowie Augenerkrankungen befragt. Es erfolgte eine standarisierte Untersuchung des monokularen- und binokularen Visus für den Nahbereich d = 70 cm. Ebenso wurden mit DIN Testscheiben Messungen zur Farbtüchtigkeit (nach Ishihara) und zum Vorliegen eines Strabismus vorgenommen. Ebenfalls per Testtafel wurde eine mögliche Unterdrückung eines Auges durch das dominante andere Auge ausgeschlossen. Die Messungen erfolgten am Binoptometer ® der Firma Oculus.

2.8 Reliabilitätskontrolle

Während der Messung erfolgte eine Reliabilitätskontrolle mit falsch negativen und falsch positiven Reizen. Im ersten Fall wird nur ein akustisches Signal gesetzt. Reagiert der Patient durch Drücken der Reaktionstaste, lässt dies an seiner Glaubwürdigkeit zweifeln. Im zweiten Fall wird eine bereits vom Patienten erkannte LED zu Testzwecken ein zweites Mal vom PC angesteuert. Reagiert der Patient auf diese beim zweiten Mal nicht, lässt dies ebenfalls an seiner Glaubwürdigkeit zweifeln. Insgesamt wurden pro Perimetrie 28 Reliabilitätskontrollen durchgeführt.

Nach der vollständigen Messung wurde die Reliabilität jeweils individuell bewertet. Jedoch mussten 50% der Kontrollmessungen richtig beantwortet werden, damit das Gesamtergebnis in der Arbeit berücksichtigt wurde. Drei Probanden haben diese Bedingungen nicht erfüllt.

2.9 Vermessung des rechten Auges

Wenngleich das Patientenkollektiv zu Diagnostikzwecken häufig an beiden Augen perimetriert wurde, so wurden für die Arbeit nur Messungen am rechten Auge berücksichtigt. Das Probandenkollektiv erhielt nur eine Perimetrie des rechten Auges.

Diesem Vorgehen liegen folgende Überlegungen zugrunde:

- Zahlreiche Autoren beschreiben bei den unterschiedlichen Perimetriearten Lerneffekte, die insbesondere innerhalb der ersten Messungen auftreten [Heijl et al. 1989], [Kasten 1999]. Es ist daher anzunehmen, dass diese bereits zwischen den Einzelmessungen für ein Auge zum Tragen kommen und die Ergebnisse verzerren können.

- Die Perimetrie eines Auges dauert ca. 25-30 Minuten, die anschließende Perimetrie des anderen Auges würde einen starken Ermüdungseffekt erzeugen, der in der Literatur bei anderen Varianten der statistischen Perimetrie als problematisch bewertet wird [Searle et al.1991], [Hudson et al. 1994]. Gerade Patienten mit zerebralen Läsionen weisen häufig Aufmerksamkeitsdefizite auf und sind mit langen Untersuchungsdauern schnell überfordert. Zahlreiche Arbeiten beschäftigen sich deshalb damit, kürzere Perimetriealgorithmen zu entwickeln, z.B. [Schaumberger 1999]. Eine Randomisierung des zu vermessenden Auges wäre zwar möglich gewesen, allerdings sind aus neuropsychologischer Sicht Ergebnisse von rechtem und linken Auge nicht ohne Weiteres aufeinander übertragbar. Brenton et al. (1986) führen als Ursachen u.a. Anisokorie, Aniosmetropie sowie unterschiedliche Netzhautsensitivitäten zwischen rechten und linkem Auge an korrespondierenden Stellen auf. Auch bezüglich der mikroskopischen Anatomie scheint es Unterschiede zwischen rechtem und linken Auge zu geben. So bestimmten Gherghel et al. (2000) für die Papille im linken Auge signifikant höhere Nervendicken als im rechten Auge.

Aus diesem Grund wurde der Kompromiss gewählt, jeweils nur das rechte Auge zu vermessen. Entsprechende Schlussfolgerungen für das linke Auge sind mit Einschränkungen zu sehen!

Es sei erwähnt, dass am LRP für andere Fragestellungen sowie für Neurorehabilitation andere Gesichtsfeldbereiche vermessen werden können. So können selektiv zentrale oder periphere Bereiche vermessen werden. Auch ist die Vermessung von „Hauptachsen“, also Meridianen, ebenso wie von vordefinierten Bereichen möglich. Diese vielfältigen Optionen werden in dieser Arbeit aber nicht verwendet.

3. Ergebnisse

3.1.1 Auswertung der Gesichtsfelder

Für eine Gesichtsfeldvermessung wurde die Probanden-reaktion auf insgesamt 700 aufleuchtende LEDs der Perimeterhalbkugel bestimmt. Der Messbereich erstreckt sich - bezogen auf das Gesichtsfeld des rechten Probandenauges - bis 66° nasal, 90° temporal sowie jeweils 60° nach oben und unten.

Mittels der LRP-Software wurden für jede LED Reaktions-zeit und Koordinate registriert und gespeichert.

Der Nullpunkt des Koordinatensystems liegt dabei genau im Pol der Halbkugel. Auf diesen Punkt ist das zu unter-suchende Auge genau zentriert. X bezeichnet die horizontale Achse (Azimutwinkel) und wird nach links negativ, nach rechts entsprechend positiv. Y bezeichnet dagegen die vertikale Achse (Elevationswinkel) und wird nach untern negativ, nach oben entsprechend positiv gewertet.

Das negative X-Vorzeichen benennt also die nasale Richtung. X = -57 bedeutet 57º links vom Nullpunkt, also nach nasal. X = 57 bedeutet 57° rechts vom Nullpunkt, also nach temporal. Entsprechend gilt: Y = 57 bedeutet 57° nach oben vom Nullpunkt, Y = -57 bedeutet 57° nach unten vom Nullpunkt.

3.1.2 Auswertung der Reaktionszeiten

Entsprechend den Fragestellungen der Einleitung werden in dieser Arbeit Gesichtsfelder in Form von Reaktionszeiten in ms vermessen. Diese werden dann gemittelt und verglichen bezüglich:

- drei unterschiedlicher Gesichtsfeldregionen

- Geschlecht

- fünf verschiedener Altersgruppen.

3 Ergebnisse

Hinsichtlich der Einteilung der Altersgruppen sei auf das Kapitel „Material und Methoden“ verwiesen.

Das Gesichtsfeld wird zu statistischen Zwecken in drei konzentrische Bereiche eingeteilt mit unterschiedlichem radialen Abstand zur Fovea centralis. Sie werden als Innen-, Mittel- und Außenbereich bezeichnet. Abbildung 3.1.1 illustriert die Ausdehnung der drei Bereiche auf einer Gesichtsfeldmatrix. Zu beachten ist, dass das Messfeld nur bis -66° auf der Azimuthachse reicht. Im Anhang ist die Lage der drei Bereiche noch mal in Form von Koordinaten dargestellt.

Der Mittelbereich versteht sich exklusive des Innenbereiches. Der Außenbereich versteht sich exklusive des Mittel- und Innenbereiches.

Der Ausdruck „globales Gesichtsfeld“ meint die Betrachtung des gesamten Gesichtsfeldes, also den inneren, mittleren und äußeren Bereich zusammen.

Es sei erwähnt, dass diese Bereichseinteilung nicht der Physiologie des Auges entspricht. So ist beispielsweise der Bereich des schärfsten Sehens etwa 5° zirkulär um die Fovea centralis gelegen.

In der Literatur erfolgt häufig eine andere Gesichtsfeldeinteilung in Form von vier Quadranten. Aufgrund der bereits erwähnten Gesetzmäßigkeiten zur SRT ist beispielsweise gerade die Gesichtsfeldperipherie von Bedeutung und erfolgt daher als ein zusammenhängender Bereich.

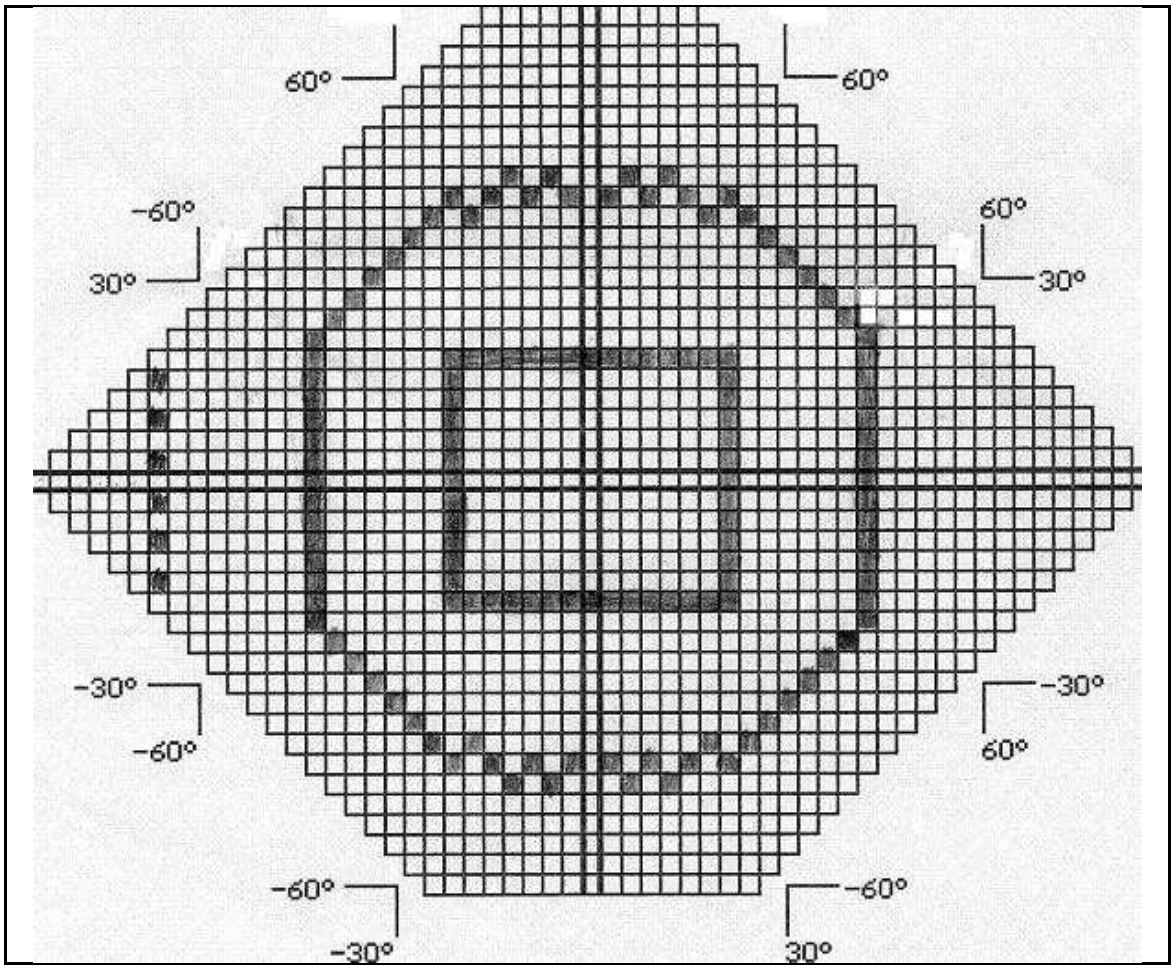

Abbildung 3.1.1. Ausdehnung der drei Gesichtsfeldbereiche. Der innerste Ring schließt den Innenbereich ein, der zweite (größere) den Mittelbereich. Außerhalb des zweiten Ringes liegt der Außenbereich. Skizziert auf einer Gesichtsfeldmatrix für das rechte Auge. Nasal reicht der Messbereich bis etwa 66°.

3.1.3 Auswertung von Früh-, Spät- und Fehlreaktionen

Wie im Kapitel „Material und Methoden" bereits erwähnt, wird eine Reaktionszeit unter 150 ms nach Aufleuchten der LED als Frühreaktion, von über 900 ms (aber unter 1400 ms) als Spätreaktion und ab 1400 ms (Reaktionszeitintervall plus Zeitübertritt = 900 ms + 500 ms) schließlich als Fehlreaktion bezeichnet.

Der Anteil der Frühreaktionen an der gesamten Messung wurde für jeden Probanden ermittelt. Allerdings konnten die Werte der Frühreaktionen nicht für die Medianberechnung berücksichtigt werden. Diesem Vorgehen liegt - wie bereits erwähnt - die Überlegung zugrunde, dass Frühreaktionen unphysiologisch sind und vor allem durch „unselektives Dauerdrücken" auf den Knopf zustande kommen. Daher hätten die Frühreaktionen ein falsches Bild von den wirklichen Reaktionen gegeben.

Reagierte ein Proband mit einer Spätreaktion, ging diese mit ihrem absoluten Wert in ms in die Berechnung des Medians der 700 Einzelmessungen ein. Des Weiteren wurde der Anteil der Spätreaktionen an der Gesamtmessung bestimmt. Die Spätreaktionen sind also nichts anderes als eine Deklaration von Reaktionen unter reduzierten Aufmerksamkeitsbedingugen oder möglicher motorischer Verlangsamung von über 900 ms. Dieser Schnitt bei 900 ms gründet sich auf praktischen jahrelangen Erfahrungen am LRP.

Erfolgte nach 1400 ms keine Reaktion, wurde die jeweilige Reaktionszeitmessung abgebrochen und als Fehlreaktion gewertet. Die Anzahl der Fehlreaktionen wurde bei jeder Gesichtsfeldmessung bestimmt. Analog zu den Reaktionszeiten wurde für die drei Gesichtsfeldbereiche, Geschlecht und Alter gemittelt.

Zusätzlich wurde jede Fehlreaktion aber auch als eine Reaktionszeit von 1400 ms gewertet. Die 1400 ms begründen sich dadurch, dass weder innerhalb des Reaktionszeitintervalls (900 ms), noch innerhalb des folgenden Zeitübertritts (nochmals 500 ms) eine Reaktion erfolgte. Aus 900 ms + 500 ms ergeben sich also 1400 ms.

Diese 1400 ms pro Fehlreaktion wurden dann in die statistische Mittelung der anderen Reaktionszeiten mit einbezogen.

Dieses Vorgehen sei an folgendem imaginären Beispiel erläutert:

Ein Proband erziele in einer Gesichtsfeldmessung viele Fehlreaktionen und einige wenige schnelle („gute“) Reaktionszeiten. Würden die Fehlreaktionen lediglich in ihrer Anzahl, nicht aber zusätzlich in einem Wert von 1400 ms gewertet werden, würde folgendes Ergebnis herauskommen:

- Die durchschnittliche Reaktionszeit wäre niedrig („gut“)
- Die Anzahl der Fehlreaktionen würde parallel dazu beziffert werden.

Demnach hätte man zwei Kategorien von Ergebnissen zu berücksichtigen.

Es wäre folglich unübersichtlich und schwer, die Leistungen eines Probanden zu interpretieren. Erst recht wären Vergleiche zwischen verschiedenen Gesichtsfeldmessungen nur schwer möglich.

Mit ihrer zeitlichen Zuordnung von 1400 ms gehen hingegen sämtliche Fehlreaktionen in die gemittelte Reaktionszeit in ms mit ein. Die Ergebnisbetrachtung wird hierdurch vereinfacht.

3.1.4 Verteilung von Früh-, Spät- und Fehlreaktionen sowie Reaktionszeiten

Zunächst wurde die Verteilung von Reaktionszeit und Fehlreaktionen untersucht. Dazu wurden Schiefe und Wölbung berechnet. Schiefe (skewness) und Wölbung(kurtosis) sind Werte zur Beurteilung der Form einer Verteilung. Je unsymmetrischer oder je schiefer die empirische Werte-Verteilung, desto größer wird der berechnete Schiefewert.

Die Wölbung ist ein Maß dafür, ob die Verteilung der beobachteten Werte im Vergleich zu einer Normalverteilung bei gleichem Mittelwert und gleicher Streuung spitzer oder flacher ist. Wenn eine Normalverteilung vorliegt, dann ist nach dem in dieser Arbeit verwendeten Statistikprogramm SPSS die Wölbung 0. Bei positiven Werten ist die empirische Verteilung somit spitzer (hochgipfliger), bei negativen Werten ist sie flacher (platter) als eine Normalverteilung.

Tabelle 3.1.1 und 3.1.2 stellen Schiefe und Wölbung bezüglich Reaktionszeit und Fehlreaktionen dar. Es wird deutlich, dass die Daten nicht normalverteilt sind.

Tabelle 3.1.1. Schiefe (skewness) und Wölbung (kurtosis) der Fehlreaktionen für verschiedene Gesichtsfeldbereiche.

Gesichtsfeldbereich	Schiefe	Wölbung
Globalbereich Männer und Frauen	0,6	-0,12
Außenbereich Männer und Frauen	0,46	-0,61
Mittelbereich Männer und Frauen	2,46	8,08
Innenbereich Männer und Frauen	1,88	4,99

Tabelle 3.1.2. Schiefe (skewness) und Wölbung (kurtosis) der Reaktionszeiten für verschiedene Gesichtsfeldbereiche.

Gesichtsfeldbereich	Schiefe	Wölbung
Globalbereich Männer und Frauen	0,93	1,17
Außenbereich Männer und Frauen	1,18	2,07
Mittelbereich Männer und Frauen	1,03	1,38
Innenbereich Männer und Frauen	1,02	2,17

Abbildung 3.1.2 illustriert dies graphisch am Beispiel der Fehlreaktionen.

Die Verteilung der Früh- und Spätreaktionen verhält sich entsprechend.

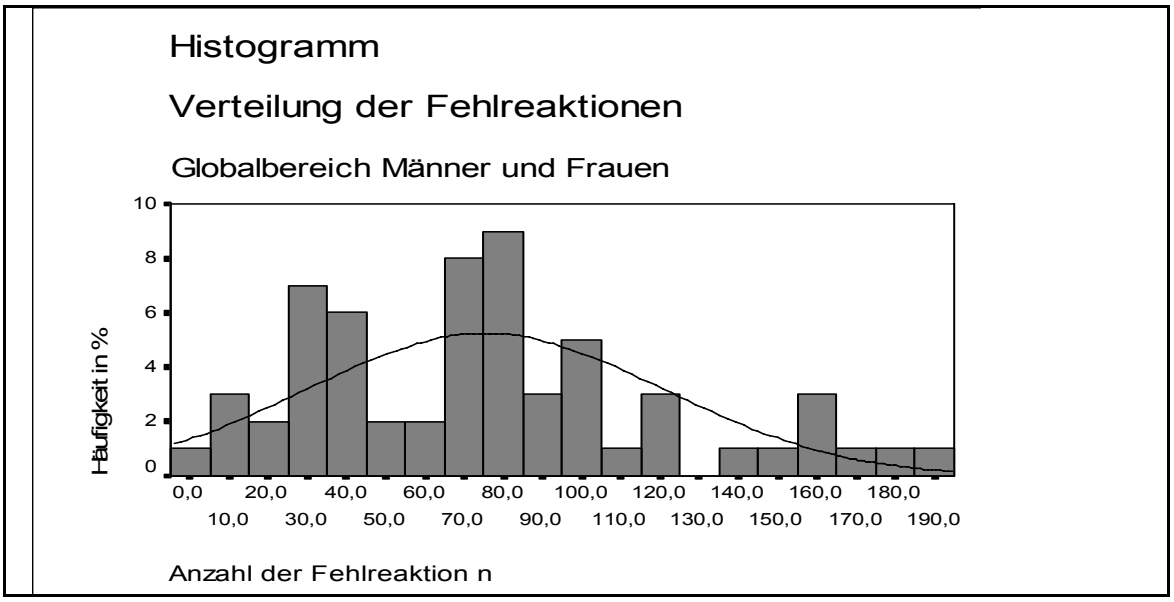

Abbildung 3.1.2 Häufigkeit der Fehlreaktionen. Im Vergleich dazu ist die Normalverteilung dargestellt. Ordinateneinteilung %*0,1.

3.1.5 Statistische Tests und Ergebnisdarstellung

Unter der Annahme, dass wahrscheinlich keine Normalverteilung vorliegt, wurde statt des arithmetischen Mittels der Median gewählt. Er besitzt gegenüber statistischen Ausreißern eine größere Robustheit.

Entsprechend wurden statt der Standardabweichung die Quartilen verwendet. Das untere Quartil Q1 besagt, dass 25% der Stichprobenwerte kleiner oder gleich Q1 sind. Das obere Quartil Q3 besagt, dass 75% der Werte maximal so groß sind wie Q3, das restliche Viertel größer oder gleich Q3.

Als Quartilsabstand wird die Differenz aus Q3 und Q1 bezeichnet. Entsprechend bezeichnet die Spannweite die Differenz aus Maximum und Minimum.

Die graphische Darstellung der Lagemaße erfolgte anhand des Box-Whisker-Plots. Dabei wird jede Stichprobe durch eine rechteckige Box repräsentiert, die unten und oben vom 1. und 3. Quartil begrenzt wird und 50% der Stichprobenwerte beinhaltet. Die oberen und unteren Querstriche repräsentieren Maximum bzw. Minimum. Vergleiche hierzu auch Abbildung 3.1.3. Hinsichtlich einer möglichen Korrelation zwischen zwei Variablen wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman verwendet.

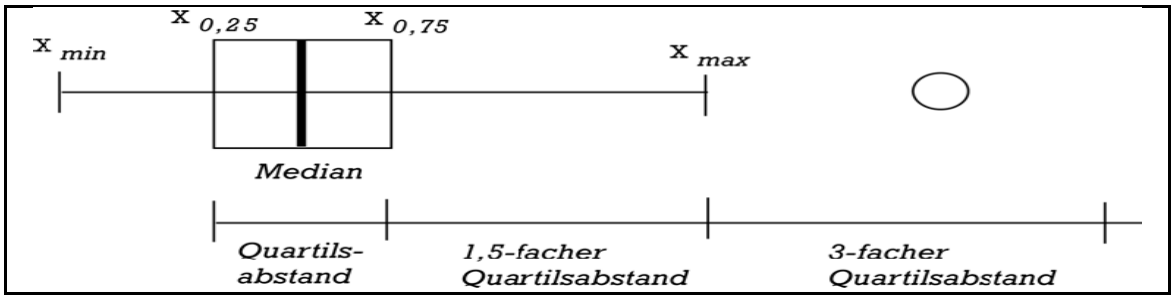

Abbildung 3.1.3. Legende zum Box-Whisker-Plot.

Dieser setzt keine lineare Korrelationsfunktion voraus, es reicht ein monotoner Zusammenhang. Je näher die Korrelation r, genauer der Korrelationskoeffizient, bei 1,0 liegt, desto stärker ist diese.

Die Kennzeichnung mit * bedeutet, dass ein Zusammenhang bzw. Testergebnis signifikant auf dem p = 0,05-Niveau ist. Für mögliche Zusammenhänge wurden eine Regressions-analyse sowie die dazugehörige Reliabilität berechnet.κ bezeichnet die Reliabilität und damit Zuverlässigkeit des jeweiligen Regressionsmodells und ist die Korrelation zwischen errechnetem und tatsächlich beobachteten Wert. Folglich kann κ Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Je näher κ bei 1 liegt, desto zuverlässiger ist das Modell.

Bei der Fragestellung eines geschlechtsspezifischen Unterschiedes hinsichtlich Reaktionszeit und Fehl-reaktionen wurde der U-Test nach Mann und Whitney gewählt. Der U-Test ist statistisch gesehen ein konser-vativerer Test und erschwert die Berechnung falsch hoher Signifikanzen. Symmetrie und Normalverteilung werden bei diesem Test nicht vorausgesetzt. Er stellt somit schwächere Voraussetzungen an die Testbedingungen als beispielsweise der t-Test. Je näher U bei null liegt, desto mehr unterscheiden sich die Stichproben und desto eher wird die Alternativhypothese angenommen.

Um die Variation der Länge der Reaktionszeit als Funktion des Gesichtsfeldes bzw. dessen Schädigung deutlich zu machen, wurde neben der graphischen 2-D auch eine anschauliche 3-D Darstellung beigefügt. Abbildung 3.1.4 zeigt nochmals das Beispiel einer zweidimensionalen, Abbildung 3.1.5 das einer dreidimensionalen Darstellung.

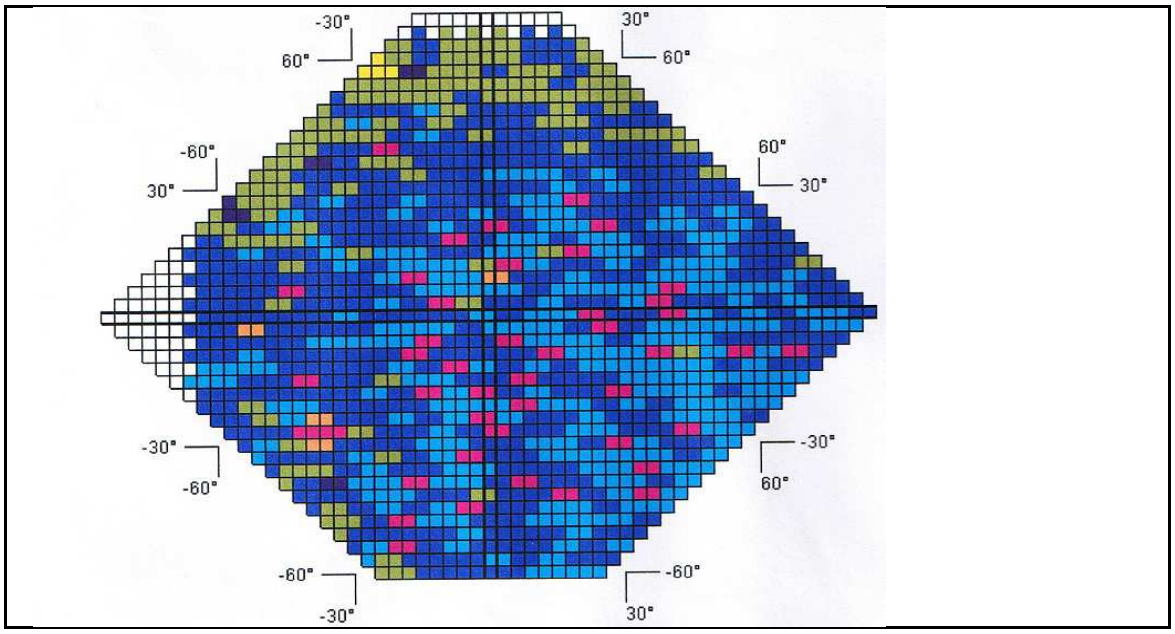

Abbildung 3.1.4. Beispiel für zweidimensionale Gesichtsfelddarstellung.

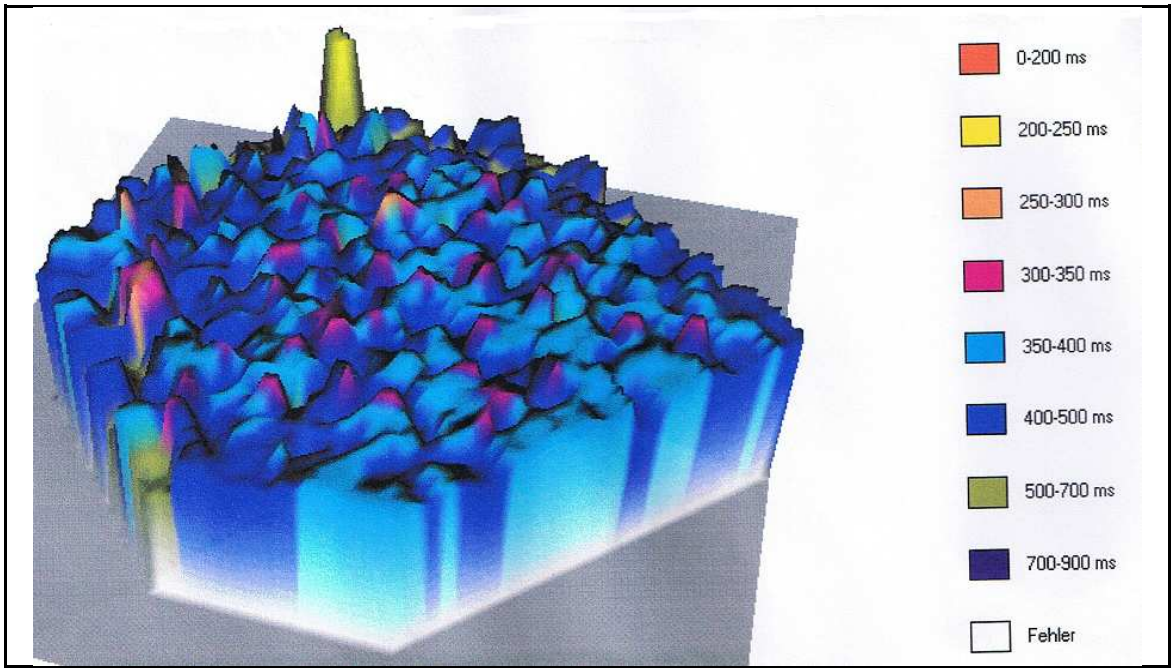

Abbildung 3.1.5. Beispiel für dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung. Die rechtsseitige Farblegende gilt für Abbildung 3.1.4 und 3.1.5.

3.1.6 Fehlreaktionen im Zusammenhang mit Alter und Gesichtsfeldbereich

Die Fehlreaktionen als vom Probanden nicht wahrgenommene Reize sind ein wichtiger Parameter zur Beschreibung von Defekten des Gesichtsfeldes oder deren physiologischer Grenze. Die Abbildung 3.1.6 zeigt die Anzahl der Fehlreaktionen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht.

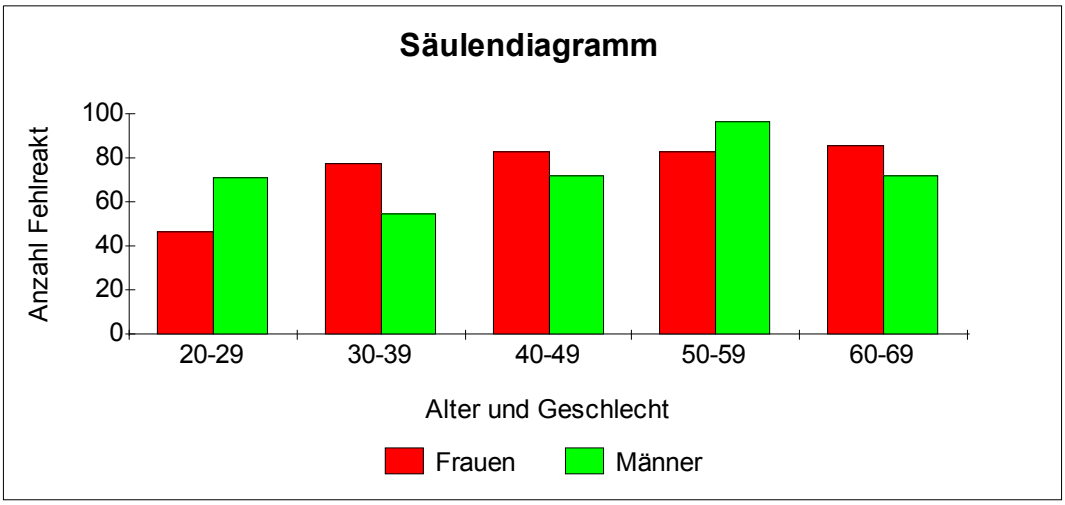

Abbildung 3.1.6 Anzahl der Fehlreaktionen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht.

Tabelle 3.1.3 stellt denselben Zusammenhang nochmals in Form von Zahlen dar.

Tabelle 3.1.3. Median der Fehlreaktionen für Geschlecht und Alter. Dargestellt für das globale Gesichtsfeld.

	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
Männer und Frauen	61	67	81	96	74
Frauen	46	77	83	82,5	85
Männer	70,5	54,5	72	96	72

Tabelle 3.1.3 zeigt, dass im globalen Gesichtsfeld mit steigendem Alter die Anzahl der Fehlreaktionen im Mittel zunimmt. Beispielsweise beträgt die Anzahl der Fehlreaktionen bei „Männern und Frauen“ in der Altersklasse 20-29 Jahre 61, in der Altersklasse 50-59 hingegen 96.

Der Box-Whisker-Plot in Abbildung 3.1.7 veranschaulicht für den Globalbereich die Anzahl der Fehlreaktionen im Zusammenhang mit dem Alter. Es wird deutlich, dass es in der Gruppe der „Männer und Frauen 60-69 Jahre“ im Mittel wieder eine leichte Abnahme der Fehlreaktionen auf 74 gibt.

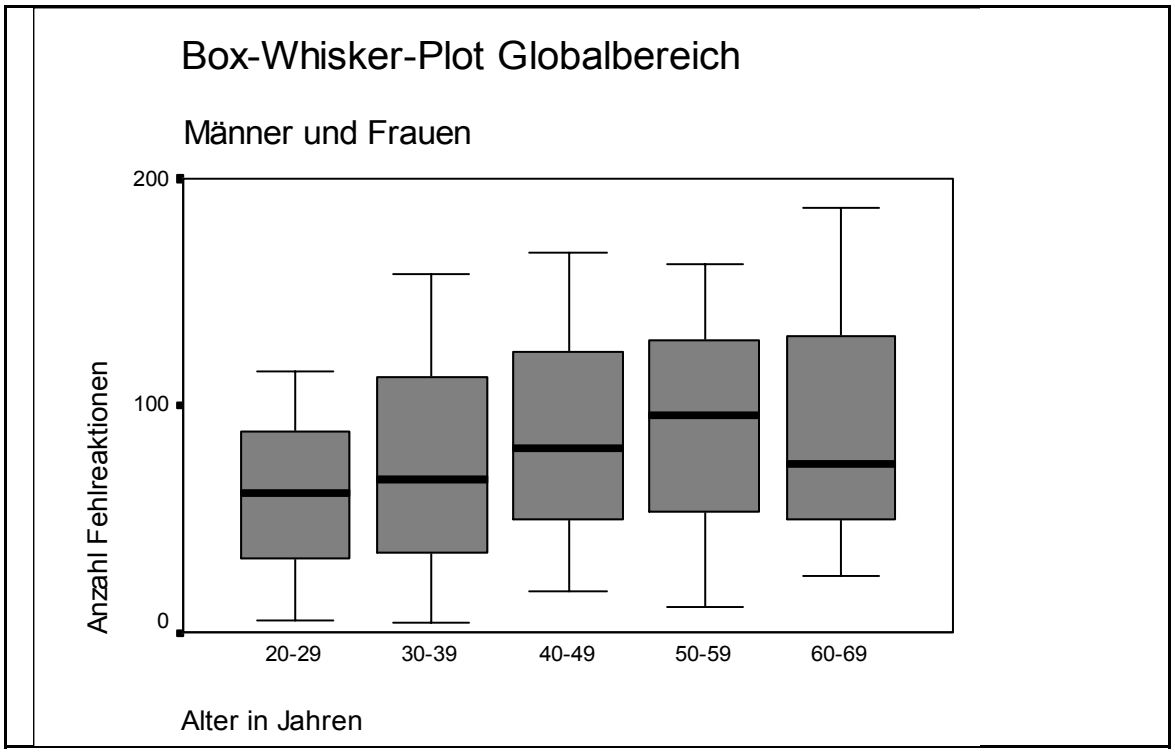

Abbildung 3.1.7. Abhängigkeit der Fehlreaktionen vom Alter im Globalbereich. Die Abszisse gibt jeweils die Altersgruppe, die Ordinate Anzahl der Fehlreaktionen wider.

Für Männer und Frauen zusammen betrachtet liegt im globalen Gesichtsfeld die durchschnittliche Anzahl der Fehlreaktionen zwischen 61 und 96. Dies entspricht 8,7% bzw. 13,7% der 700 Reize pro Messung. Beim Vergleich der Geschlechter fällt auf, dass beide je nach Altersklasse mal über als auch unter dem Gesamtdurchschnitt liegen. Keines der beiden Geschlechter schneidet also insgesamt besser ab als das andere.

Wie Tabelle 3.1.4 zeigt, unterscheiden sich die Gruppenmediane hinsichtlich der Fehlreaktionen kaum voneinander (Median für Frauen im globalen Gesichtsfeld 74,70, für Männer im globalen Gesichtsfeld 76,88).

Tabelle 3.1.4. Anzahl der Fehlreaktionen für verschiedene Regionen des Gesichtsfeldes. Angegeben sind Maximum, Minimum, Spannweite sowie die Quartilen mit Quartilsabstand.

Gesichtsfeldbereich	Median	Min.	Max.	25 Quartile	75 Quartile	Quartils-abstand	Spann-weite
Globalbereich Männer und Frauen	75,19	4	187	41,5	96,75	55,25	183
Globalbereich Frauen	74,70	4	175	42	94	52	171
Globalbereich Männer	76,88	18	187	41	131,94	90,94	169
Außenbereich Männer und Frauen	57	2	128	24	75,5	51,5	126
Außenbereich Frauen	58	2	125	24,5	86,5	62	123
Außenbereich Männer	56,5	14	128	22	72,5	50,5	114
Mittelbereich Männer und Frauen	5	0	59	2,5	12,5	10	59
Mittelbereich Frauen	4,5	0	41	1,25	18	16,75	41
Mittelbereich Männer	5	0	59	3	12	9	59
Innenbereich Männer und Frauen	1	0	10	0	2	2	10
Innenbereich Frauen	1	0	10	0	3,5	3,5	10
Innenbereich Männer	1	0	4	0	2	2	4

Je peripherer der betrachtete Gesichtsfeldbereich, desto größer Median, Quartilsabstand und Spannweite der Fehlreaktionen. Der Median der Gruppe „Männer und Frauen“ beträgt im Außenbereich 57, im Innenbereich hingegen 1. Entsprechend beträgt der Quartilsabstand der Gruppe „Männer und Frauen“ im Außenbereich 51,5, im Innenbereich hingegen nur 2. Die Abbildung 3.1.8 verdeutlicht dies noch einmal graphisch.

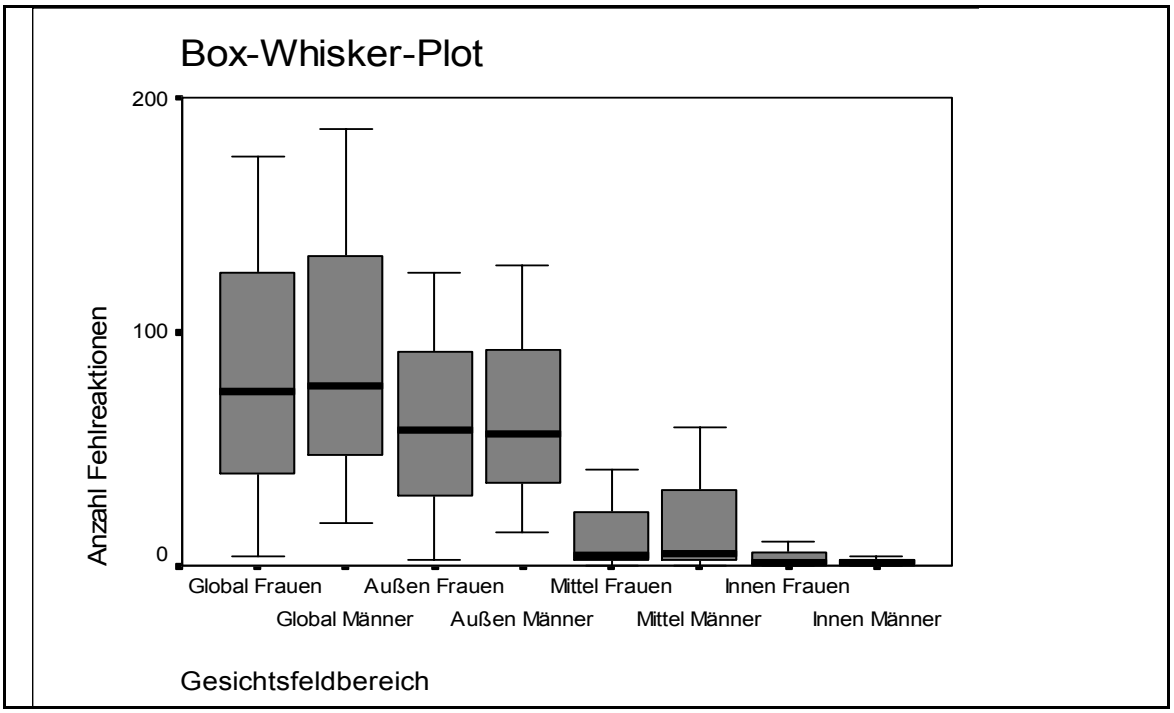

Abbildung 3.1.8. Abhängigkeit der Fehlreaktionen vom Gesichtsfeldbereich und vom Geschlecht. Die Abszisse gibt Gesichtsfeldbereich und Geschlecht wider, die Ordinate die Anzahl der Fehlreaktionen.

Für den Zusammenhang zwischen Alter und Fehlreaktionen sind in Tabelle 3.1.5 die Korrelation r sowie deren Signifikanz p für sämtliche Gesichtsfeldbereiche dargestellt. Auch wenn die Korrelation zwischen Alter und Fehlreaktionen in einigen Bereichen nicht signifikant ist ($p > 0,05$), kann trotzdem eine Korrelation bestehen.

Eine Korrelation zwischen Alter und Fehlreaktion bestehen für beide Geschlechter sowohl im Globalbereich als auch im Innenbereich. Bei den Frauen sind die Korrelationen in diesen Bereichen signifikant. Mit Ausnahme der „Frauen im Mittelbereich“ weisen Außen- und Mittelbereich in beiden Geschlechtern keine Korrelationen zwischen Alter und Fehlreaktionen auf.

Sofern eine Korrelation vorhanden ist, stellt Tabelle 3.1.6 die entsprechenden Regressionsmodelle dar. Sie dienen der Berechnung und Abschätzung von Fehlreaktionen im entsprechenden Alter. Dabei können die Altersklassen 1-5 im Regressionsmodell auch dezimal eingesetzt werden und erlauben so eine genauere Unterteilung (z.B. Altersklasse 1,5 entspricht dem Alter 25). Zur Einteilung der Altersklassen 1 bis 5 vgl. „Material und Methoden“.

Tabelle 3.1.5. Korrelation r zwischen Alter und Anzahl der Fehlreaktionen. p gibt die Signifikanz von r an. Betrachtung für verschiedene Gesichtsfeldbereiche.

Gesichtsfeldbereich	Korrelation r	Signifikanz p
Globalbereich Männer und Frauen	0,7	0,18
Globalbereich Männer	0,71	0,17
Globalbereich Frauen	0,9	0,037*
Außenbereich Männer und Frauen	0	1,0
Außenbereich Männer	0,2	0,74
Außenbereich Frauen	0,3	0,624
Mittelbereich Männer und Frauen	0,3	0,62
Mittelbereich Männer	0,1	0,87
Mittelbereich Frauen	0,7	0,18
Innenbereich Männer und Frauen	0,73	0,15
Innenbereich Männer	0,73	0,15
Innenbereich Frauen	0,97	0,005*

Beispielberechnung nach Tabelle 3.1.6: Zeile „Globalbereich Männer und Frauen“ ---> Konstante = 59,30 ---> mit Altersklasse zu multiplizierender Wert = 5,5. Für Altersklasse 1 (entspricht 20 bis 29 Jahre) gilt also: Errechnete Anzahl der Fehlreaktionen = 59,30+5,5*1. Dies ergibt 64,8 Fehlreaktionen. Der tatsächlich ermittelte Wert ist Tabelle 3.1.3 zu entnehmen und beträgt 61,0. In den Klammern sind für die jeweilige Konstante Standardfehler und Signifikanz p angegeben.

Tabelle 3.1.6. Regressionsmodelle für den Zusammenhang Alter und Fehlreaktionen in verschiedenen Gesichtsfeldbereichen.

Gesichtsfeldbereich	Konstante (Standardfehler) [Signifikanz p]	Alter* (Standardfehler) [Signifikanz p]	Reliabilität κ
Globalbereich Männer und Frauen	59,30 (12,59) [0,018]*	5,5 (3,79) [0,24]	0,64
Globalbereich Frauen	49,65 (11,60) [0,02]*	8,35 (3,5) [0,09]*	0,80
Mittelbereich Frauen	-1,25 (5,76) [0,84]	3,65 (1,73) [0,12]	0,77
Innenbereich Männer und Frauen	-0,4 (0,66) [0,58]	0,4 (0,2) [0,13]	0,75
Innenbereich Frauen	-2,5 (1,13) [0,11]	1,5 (0,34) [0,02]*	0,93

Anhand des U-Tests kann ein möglicher geschlechtsspezifischer Unterschied hinsichtlich der Fehlreaktionen festgestellt werden. Die Alternativhypothese in diesem Test lautet, dass es einen geschlechtsspezifischen Unterschied gibt. Die Nullhypothese lautet, dass es einen solchen Unterschied **nicht** gibt.

Der p-Wert quantifiziert die Wahrscheinlichkeit, dass das gefundene Testergebnis zustande kommt, wenn in Wirklichkeit die Nullhypothese richtig ist. Sollte p kleiner als das vordefinierte Signifikanzniveau $\alpha = 0{,}05$ sein, so ist ein Unterschied zwischen den betrachteten Gruppen wahrscheinlich.

Wie Tabelle 3.1.7 verdeutlicht, gibt es für *keinen* Unterbereich im Gesichtsfeld einen signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschied bezüglich der Anzahl der Fehlreaktionen. Alle p-Werte liegen über dem vordefinierten Signifikanzniveau $\alpha = 0{,}05$. Folglich ist von der Nullhypothese auszugehen, dass es keinen geschlechtsspezifischen Unterschied bezüglich der Fehlreaktionen gibt.

Tabelle 3.1.7. U-Test zur Berechnung eines möglichen geschlechtsspezifischen Unterschiedes der Fehlreaktionen.

Gesichtsfeldbereich	U-Testwert	Signifikanz p
Außenbereich	372	0,65
Mittelbereich	318,50	0,44
Innenbereich	388	0,68

3.1.7 Reaktionszeit im Zusammenhang mit Alter und Gesichtsfeldbereich

Die statistische Betrachtung der Reaktionszeiten ähnelt der im vorherigen Abschnitt. Abbildung 3.1.9 zeigt die Reaktionszeit in ms in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht.

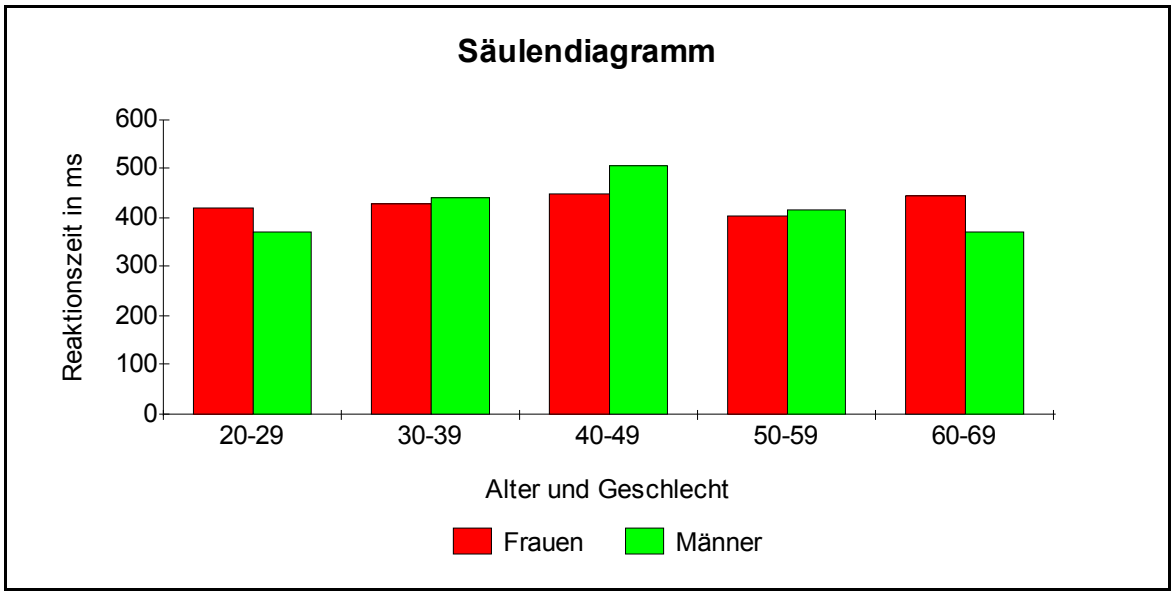

Abbildung 3.1.9. Reaktionszeit in ms in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht.

Tabelle 3.1.8 stellt denselben Zusammenhang nochmals in Form von Zahlen dar. Ähnlich wie bei den Fehlreaktionen hat keines der beiden Geschlechter durchweg bessere Reaktionszeiten über alle Altersklassen hinweg.

Tabelle 3.1.8. Median der Reaktionszeiten [ms] für das globale Gesichtsfeld in den unterschiedlichen Altersklassen.

	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
Männer und Frauen	372,5	428	450	417	414
Frauen	419	428	450	406	446
Männer	372	442	505	417	372

Der Median der Reaktionszeit steigt in den ersten drei Altersgruppen im „Globalbereich“ von 372,5 ms [20-29 Jahre] auf 450 ms [40-49 Jahre]. Ab der Altersgruppe der 50-59-Jährigen ist sogar wieder eine Abnahme der Reaktionszeit auf 417 ms bzw. 414 ms erkennbar [60-69 Jahre]. Die Abbildung 3.2.0 stellt diese Zusammenhänge nochmals graphisch dar.

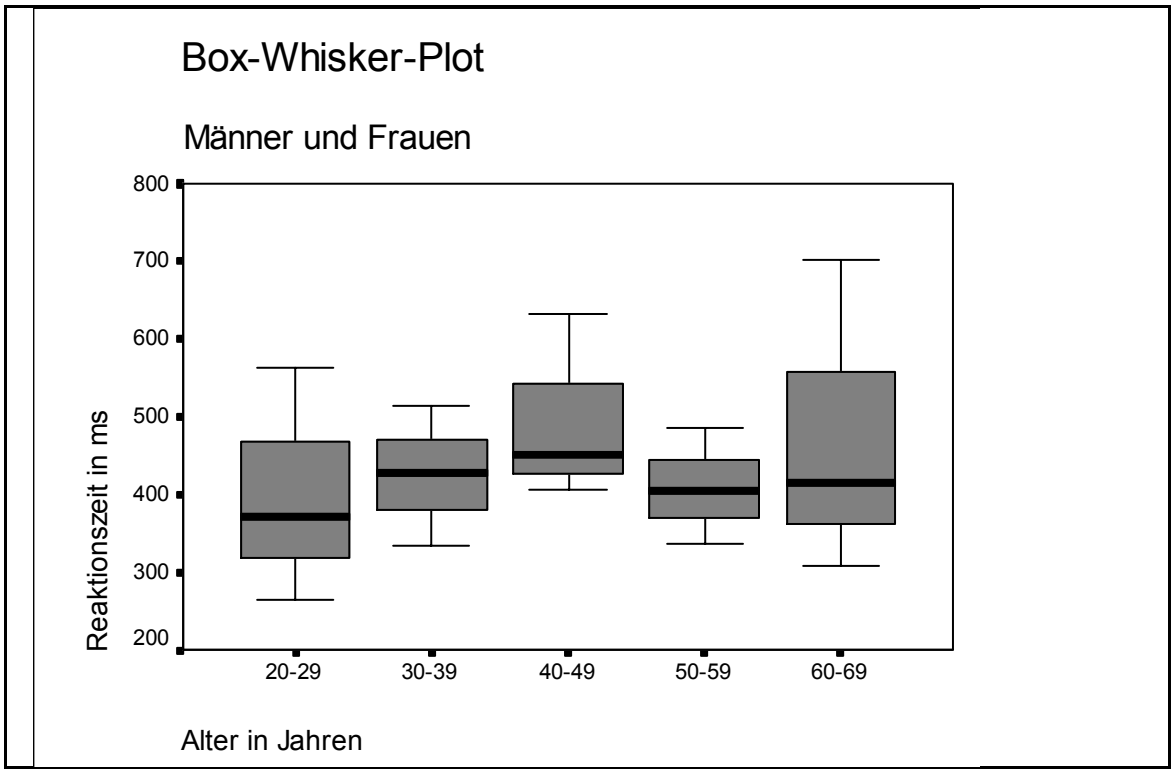

Abbildung 3.2.0. Abhängigkeit der Reaktionszeit vom Alter. Die Abszisse gibt jeweils die Altersgruppe, die Ordinate die Reaktionszeit wider.

Analog zu den Fehlreaktionen steigen Median, Quartilsabstand und Spannweite der Reaktionszeiten mit zunehmender Peripherie des Gesichtsfeldes an. Die entsprechenden Werte werden in Tabelle 3.1.9 dargestellt. So beträgt der Median für die Gruppe „Männer und Frauen“ im Außenbereich 492 ms, im Innenbereich hingegen 374 ms. Entsprechend beträgt der Quartilsabstand für die Gruppe „Männer und Frauen“ im Außenbereich 157,5 ms, im Innenbereich hingegen nur 91,5 ms. Weiter fällt die insgesamt hohe Streuung der Reaktionszeiten auf, welche durch die Spannweite dargestellt wird.

Tabelle 3.1.9. Reaktionszeiten [ms] für verschiedene Regionen des Gesichtsfeldes. Angegeben sind Maximum, Minimum, Spannweite sowie Quartilen mit Quartilsabstand.

Gesichtsfeldbereich	Median	Min	Max	25 Quartile	75 Quartile	Quartils-abstand	Spannweite
Globalbereich Männer und Frauen	423	265	702	371	470	99	437
Globalbereich Frauen	443	265	630	369,5	486	116,5	365
Globalbereich Männer	410	309	702	371	460	89	393
Außenbereich Männer und Frauen	492	295	938	431,5	589	157,5	643
Außenbereich Frauen	519	295	938	422,5	598,5	176	643
Außenbereich Männer	481,5	339	891	438	579,25	141,25	552
Mittelbereich Männer und Frauen	406,5	257	670	352,25	458,75	106,5	413
Mittelbereich Frauen	417	257	617	351,5	456	104,5	360
Mittelbereich Männer	398	298	670	352,5	463,5	111	372
Innenbereich Männer und Frauen	374	239	633	337	428,5	91,5	394
Innenbereich Frauen	394,5	239	570	338,5	428,5	90	331
Innenbereich Männer	364	285	633	330,25	428	97,75	348

Abbildung 3.2.1 stellt die Reaktionszeit als Funktion des Gesichtsfeldbereiches für beide Geschlechter dar. Die mit „1“ dargestellten Werte symbolisieren Ausreißer. Dies sind Werte, die sich innerhalb des dreifachen Quartilabstandes befinden.

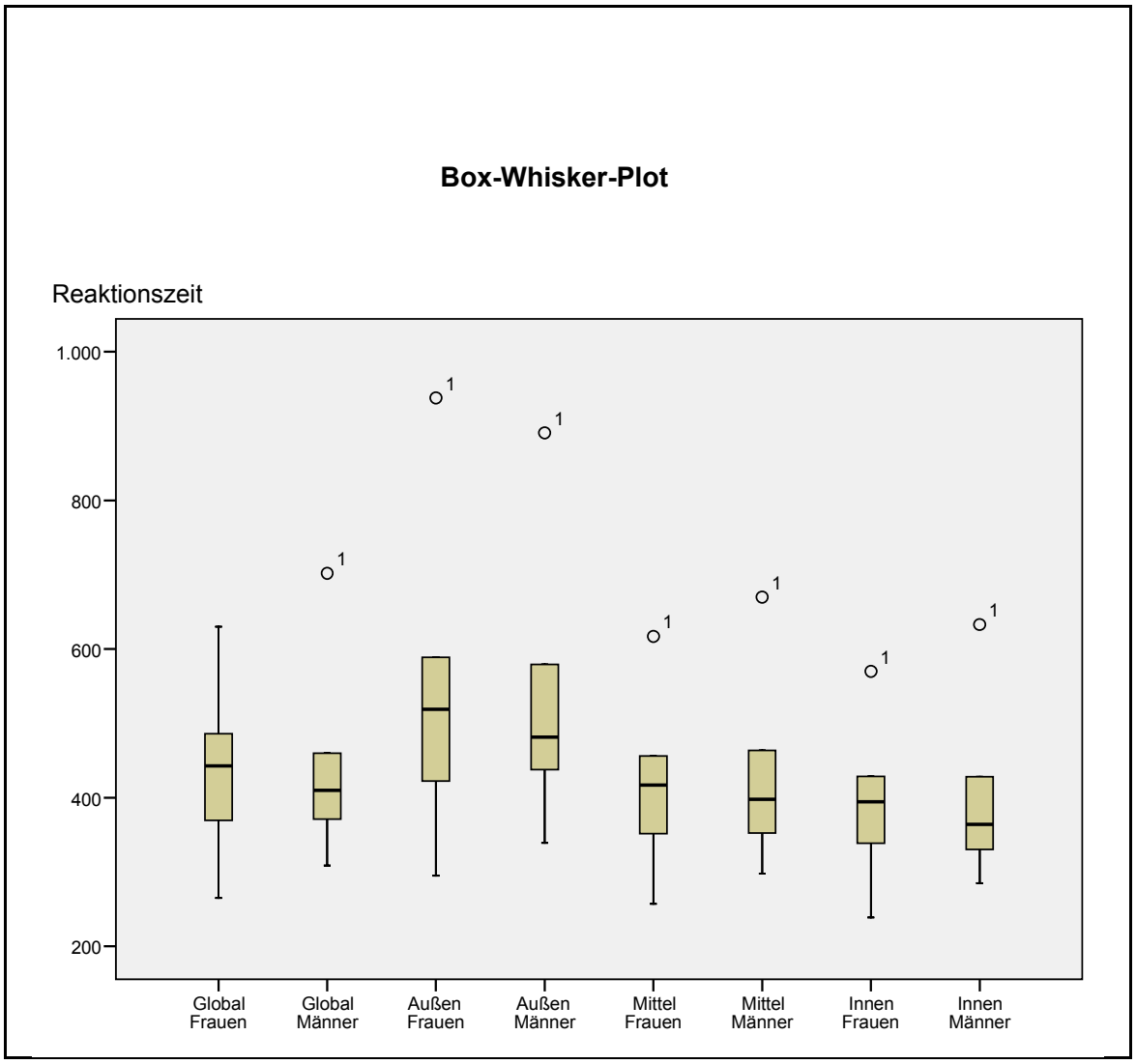

Abbildung 3.2.1. Abhängigkeit der Reaktionszeit vom Gesichtsfeldbereich und vom Geschlecht. Die Abszisse gibt Gesichtsfeldbereich und Geschlecht wider, die Ordinate die Reaktionszeit in ms.

Im Gegensatz zu den Fehlreaktionen ist im globalen Gesichtsfeld keine signifikante Korrelation für den Zusammenhang zwischen Reaktionszeit und Alter auszumachen.

Jedoch weisen die drei Unterbereiche des Gesichtsfeldes teilweise signifikante Korrelationen für den Zusammenhang zwischen Alter und Reaktionszeit auf. Die entsprechenden Korrelationen stellt Tabelle 3.2.0 dar. So zeigt der „Innenbereich Frauen“ steigende Reaktionszeiten mit dem Alter (r = 0,9, p = 0,037). Des Weiteren zeigen sich bei den Frauen im Mittel- und Außenbereich Korrelationen, die allerdings nicht linear sind („Außenbereich Frauen“ mit r = 0,7 und p = 0,18; „Mittelbereich Frauen“ mit r = 0,8 und p = 0,1). Es ist zu entnehmen, dass die Männer im Gegensatz dazu keine signifikanten Korrelationen aufweisen.

Tabelle 3.2.0. Korrelation r zwischen Alter und Reaktionszeit. p gibt die Signifikanz von r an. Betrachtung für verschiedene Gesichtsfeldbereiche.

Gesichtsfeldbereich	Korrelation r	Signifikanz p
Globalbereich Männer und Frauen	0,1	0,87
Globalbereich Männer	-0,1	0,87
Globalbereich Frauen	0,2	0,74
Außenbereich Männer und Frauen	0,7	0,18
Außenbereich Männer	-0,2	0,74
Außenbereich Frauen	0,7	0,18
Mittelbereich Männer und Frauen	0,5	0,39
Mittelbereich Männer	0,2	0,74
Mittelbereich Frauen	0,8	0,1
Innenbereich Männer und Frauen	0,5	0,39
Innenbereich Männer	0,1	0,87
Innenbereich Frauen	0,9	0,037*

Insgesamt gesehen ist also die Korrelationen zwischen Alter und Reaktionszeit zwischen den unterschiedlichen Gesichtsfeldbereichen inhomogener als bei den Fehlreaktionen.

Tabelle 3.2.1 zeigt, dass die Spannweite der Reaktionszeit im globalen Gesichtsfeld mit ansteigendem Probandenalter zunimmt.

Tabelle 3.2.1. Spannweite der Reaktionszeit [ms] als Funktion des Alters für das globale Gesichtsfeld.

Alter	Spannweite der Reaktionszeit
20-29	1040
30-39	1170
40-49	1227
50-59	1224
60-69	1290

Die Reaktionszeit als Funktion des Alters für die drei Gesichtsfeldbereiche wird aus Gründen der Übersicht in den weiter unten folgenden zwei- und dreidimensionalen Gesichtsfeldabbildungen dargestellt.

Wie bereits für die Fehlreaktionen ausgeführt, soll auch für die Reaktionszeiten ein möglicher geschlechtsspezifischer Unterschied mit dem U-Test nach Mann und Whitney untersucht werden. Die Bedingungen für Signifikanzniveau, Nullhypothese und p-Werte gelten hier ebenso.

Tabelle 3.2.2 bestätigt auch für die Reaktionszeiten **keinen** signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschied. Sämtliche p-Werte liegen auch hier über $\alpha = 0{,}05$, so dass die Nullhypothese angenommen werden muss. Dies gilt für sämtliche Gesichtsfeldbereiche.

Tabelle 3.2.2. U-Test zur Berechnung eines möglichen geschlechtsspezifischen Unterschiedes bei den Reaktionszeiten.

Gesichtsfeldbereich	U-Testwert	Signifikanz p
Globalbereich	370,5	0,37
Außenbereich	371,5	0,79
Mittelbereich	345,5	0,76
Innenbereich	379	0,56

3.1.8 Früh- und Spätreaktionen

Tabelle 3.2.3 fasst die deskriptive Statistik der Früh- und Spätrektionen des globalen Gesichtsfeldes zusammen.

Tabelle 3.2.3. Deskriptive Statistik der Früh- und Spätreaktionen für das globale Gesichtsfeld.

Alter	Frühreaktionen Median	Frühreaktionen Minimum [Maximum]	Spätreaktionen Median	Spätreaktionen Minimum [Maximum]
20-29	1,5	1 [4]	5,5	1 [25]
30-39	0	0 [3]	5	1 [18]
40-49	1	1 [3]	6	5 [32]
50-59	0	0 [10]	4	2 [10]
60-69	1,5	1 [39]	6	3 [22]

Der Box-Whisker-Plot in Abbildung 3.2.2 zeigt, dass das Maximum der Frühreaktionen mit steigendem Alter zunimmt. Beispielsweise beträgt es für die Gruppe „20-29 Jahre“ 4, für die Gruppe „60-69 Jahre“ hingegen 39.

Wie man Tabelle 3.2.3 entnehmen kann, ist der Median der Spätreaktionen bei allen Altersklassen nahezu gleich groß.

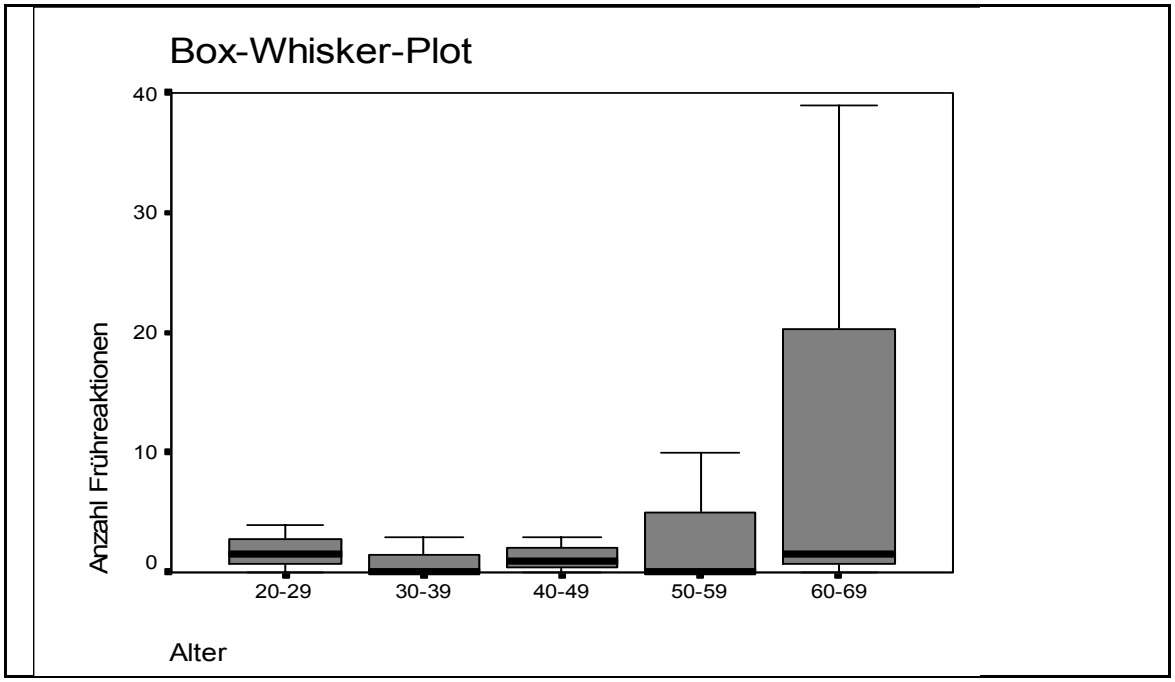

Abbildung 3.2.2. Frühreaktion als Funktion des Alters. Die Abszisse gibt das Alter wider, die Ordinate die Anzahl der Frühreaktionen.

Tabelle 3.2.4 zeigt, dass es bei Früh- und Spätreaktionen keinen signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschied gibt.

Tabelle 3.2.4. U-Test zum möglichen geschlechtsspezifischen Unterschied bei Früh- und Spätreaktionen.

Gesichtsfeldbereich	Frühreaktionen U-Test	Frühreaktionen p-Wert zum U-Test	Spätreaktionen U-Test	Spätreaktionen p-Wert zum U-Test
Global Männer und Frauen	372	0,56	386	0,34

3.1.9 Reaktionszeit und Visus

Abbildung 3.2.3 setzt den auf 0,7 m bezogenen Visus naturalis aller Probanden zur jeweiligen durchschnittlichen Reaktionszeit in Beziehung. In dieser Abbildung wurden aus Darstellungsgründen nahe beieinanderliegende Punkte zu einem zusammengefasst. Dabei wird deutlich, dass es nicht möglich ist, eine Regressionsgerade durch diese Punkte zu legen. Es besteht keinerlei Korrelation zwischen der Reaktionszeit der Patienten und dem Visus naturalis. Ein schlechterer Visus geht also nicht einher mit schlechteren Reaktionszeiten, wie man annehmen könnte.

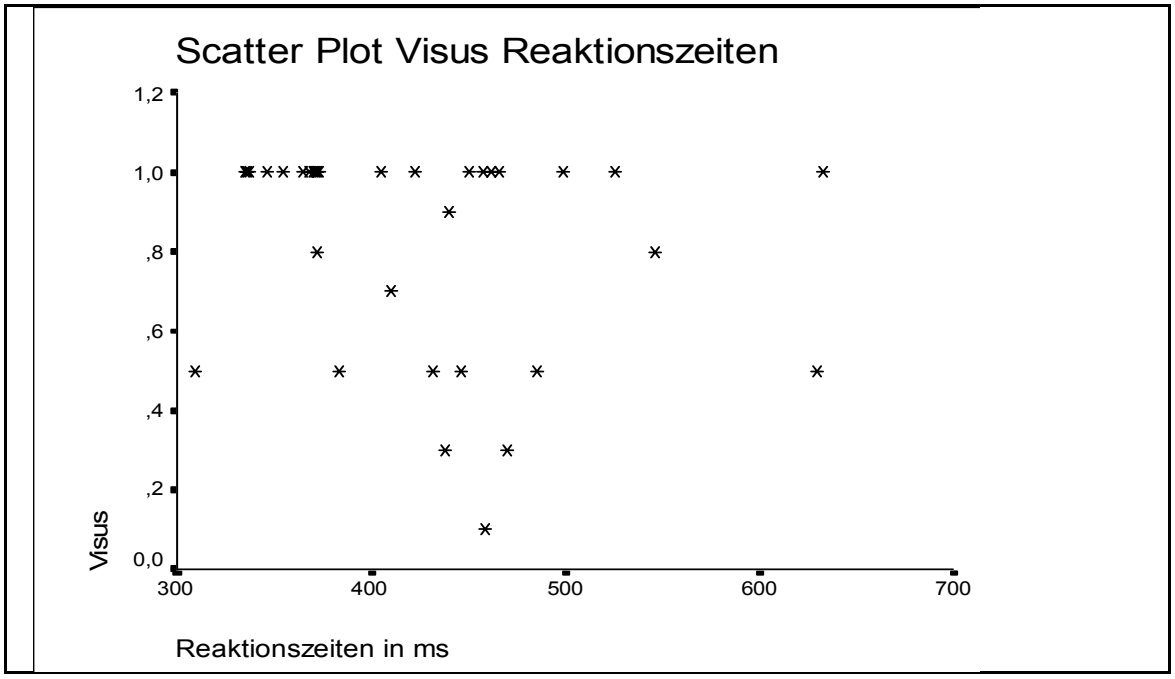

Abbildung 3.2.3. Visus naturalis (bezogen auf 0,7 m) als Funktion der Reaktionszeiten.

3.2.0 Graphische Gesichtsfelddarstellung

Wie zuvor bereits erwähnt, erlaubt die flächenmäßige Darstellung der Reaktionszeiten eine bessere Übersicht. Nach Geschlecht getrennt wurden Abbildungen für alle Altersklassen erstellt. Die erste Abbildung ist jeweils zwei-dimensional und zeigt das Koordinatensystem der Perimeterhalbkugel mit ihren 700 LEDs.

Für jede Koordinate x;y wurden die Reaktionszeiten der einzelnen Probanden gemittelt und dann graphisch in Form einer Farbe dargestellt. Es handelt sich also um ein Übereinanderlegen der ermittelten Gesichtsfelder. Die farbliche Zuordnung der Reaktionszeiten ist jeweils der Legende rechts auf der Abbildung zu entnehmen.

Zur Darstellung auch kleinerer Unterschiede wurden die Intervalle der einzelnen Farben nicht immer gleich groß gewählt. Um auch kleinere Gebiete mit kürzeren Reaktionszeiten darstellen zu können, wurden die Intervalle unter dem allgemeinen Reaktionszeitmittelwert von etwa 400 ms differenzierter, also kleiner eingeteilt.

Um eine gleichmäßigere Darstellung zu erlangen, wurden die Ergebnisse vom PC-Programm interpoliert. Die Darstellung ist somit weniger kontrastreich und enthält keine Ausreißer.

Die zweidimensionale Abbildung zeigt das perimetrisch ermittelte Gesichtsfeld des rechten Auges. Rechts außen ist die temporale (rechte) Seite, links außen die nasale (linke) Seite dargestellt. Ab -69; y wurden (nasal) keine Messungen durchgeführt, da hier das Gesichtsfeld endet Die weißen Aussparungen der Koordinate -69;y kommen durch Interpolation zustande und sind nicht als Fehlreaktion zu werten.

An anderen Stellen bedeuten weiße Felder jedoch, dass Fehl- und Spätreaktionen an der jeweiligen Koordinate gehäuft vorliegen. Hier liegt die gemittelte Reaktionszeit also über 900 ms. Eine graphische Differenzierung in Spät- und Fehlreaktionen war nicht sinnvoll, da es sich um gemittelte - also graphisch übereinandergelegte - Gesichtsfelder handelt und gemittelte Reaktionszeiten über 900 ms durch Spät- und Fehlreaktionen gleichermaßen zustande kommen können.

Eine graphische Differenzierung wäre hier also irreführend. Bei Einzeldarstellungen, wie z.B. bei Patienten, sind Reaktionszeiten über 900 ms hingegen schwarz dargestellt. Hiermit sollte der pathologische Aspekt hervorgehoben werden.

Die jeweils darauf folgende Abbildung ist dreidimensional. Die Perspektive ist ähnlich wie in der zweidimensionalen Abbildung. Rechts ist temporal, links ist nasal. Der Betrachter schaut von leicht rechts oben auf das „Gebirge“. Es ist hier zu beachten, dass die Höhe der einzelnen Gipfel umgekehrt proportional zur Reaktionszeit ist. Niedrige Reaktionszeiten, also schnelle Reaktionen, gehen mit hohen Gipfeln einher. Hinsichtlich Farbeinteilung und Interpolation gilt das im vorherigen Absatz genannte. Abbildung 3.2.4 bis 3.3.3 stellen die Gesichtsfelder für das Alter 20-69 Jahre graphisch dar.

Insgesamt betrachtet reichen die gemittelten Reaktionszeiten in den Abbildungen vom gelben Intervall (200-250 ms) bis zum weißen Intervall (über 900 ms).

Für beide Geschlechter fällt auf, dass in jeder Altersklasse die Reaktionszeiten zur Peripherie hin länger und damit schlechter werden. So ist in der nasalen Peripherie nach oben und unten in allen Altersklassen ein grüner Saum (500-700 ms) erkennbar. Die temporale Peripherie weist diesen grünen Saum weniger ausgeprägt oder gar nicht auf.

Die periphere Saumendicke nimmt mit steigendem Alter zu, allerdings ist dieser Zusammenhang weder stark noch linear. So ist der grüne Randsaum in der Gruppe „Frauen 50-59 Jahre“ kleiner als in der Gruppe „Frauen 40 bis 49“ Jahre.

Analog zur vorangegangenen statistischen Darstellung lässt sich feststellen:

1.) Die Reaktionszeiten nehmen mit der Peripherie zu.

2.) Die Korrelation zwischen Reaktionszeit und Alter ist nicht linear.

In allen Altersklassen ist bei beiden Geschlechtern dieser Saum zwischen ca. 12° und 25° breit und erstreckt sich halbmondförmig nach ganz oben und unten.

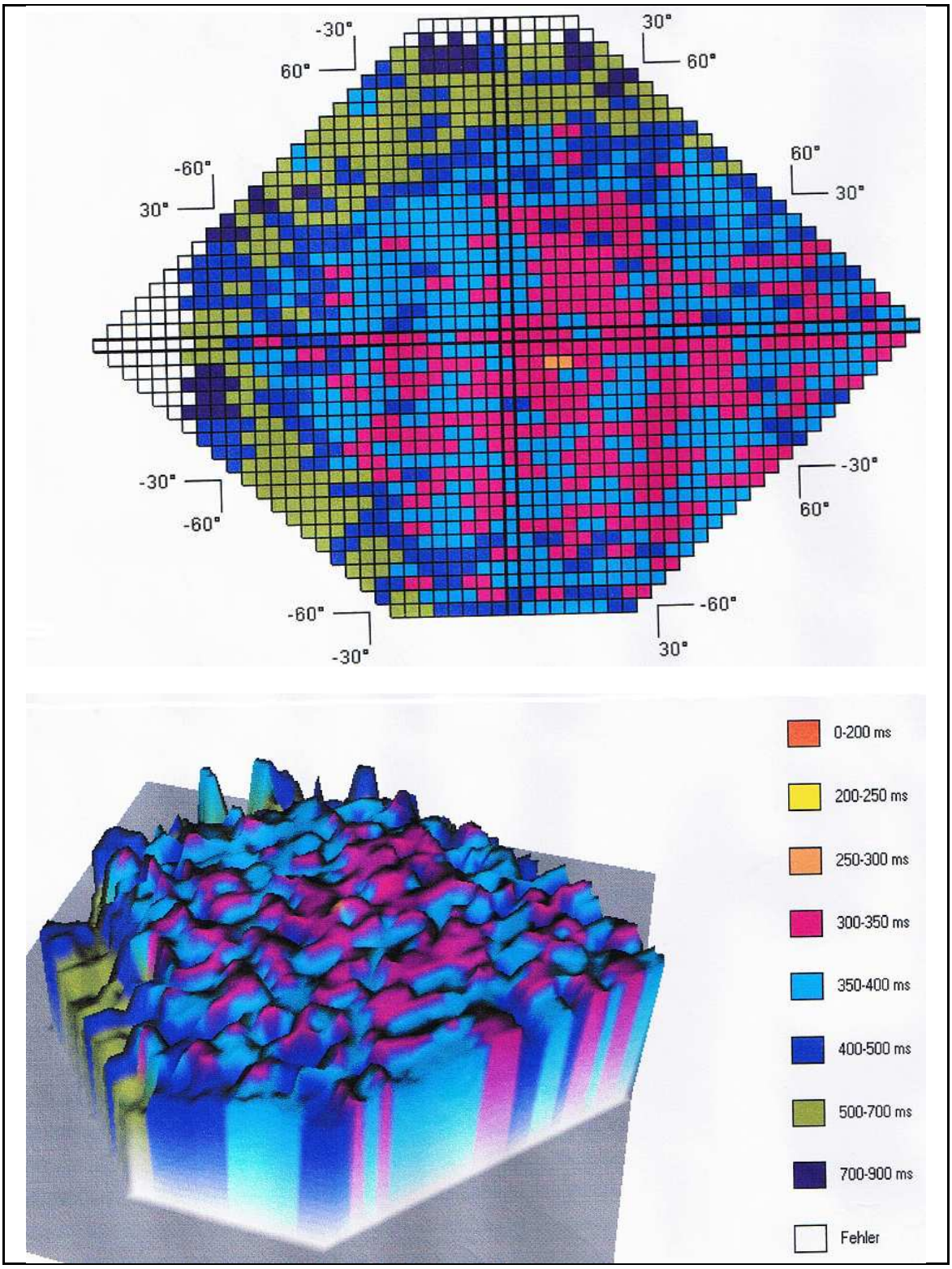

Abbildung 3.2.4. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 20-29 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 419 ms.

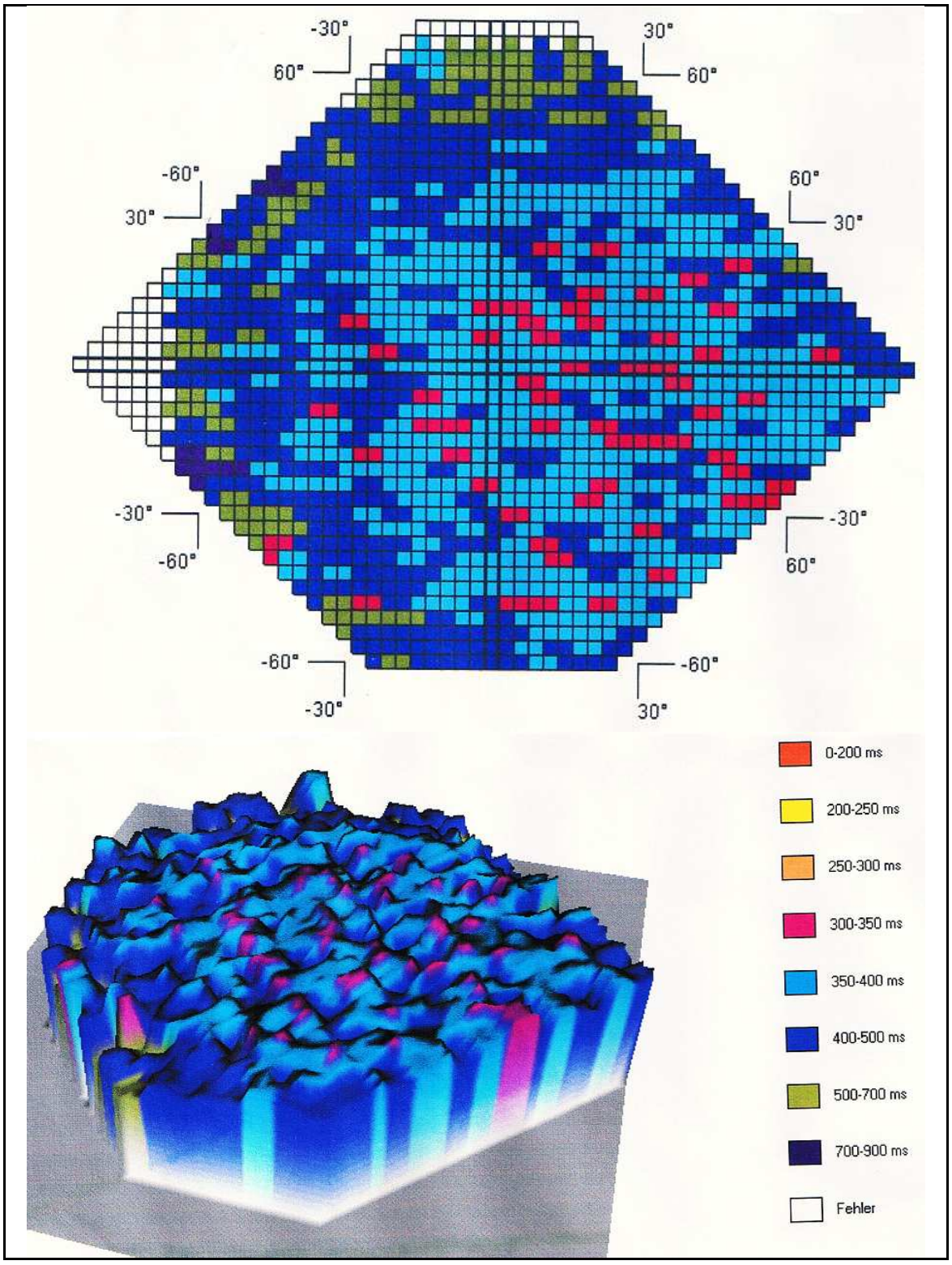

Abbildung 3.2.5. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 20-29 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 372 ms.

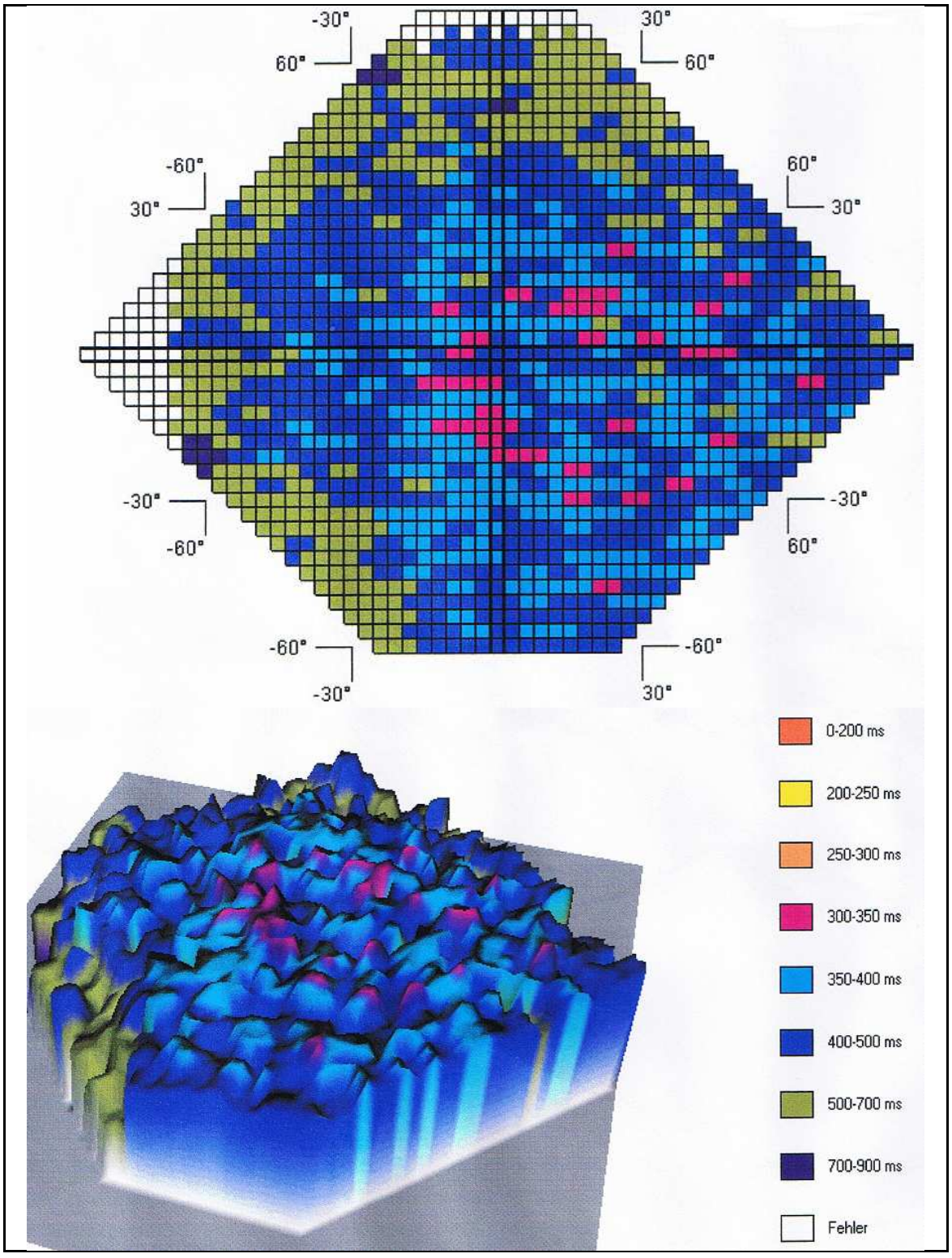

Abbildung 3.2.6. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 30-39 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 428 ms.

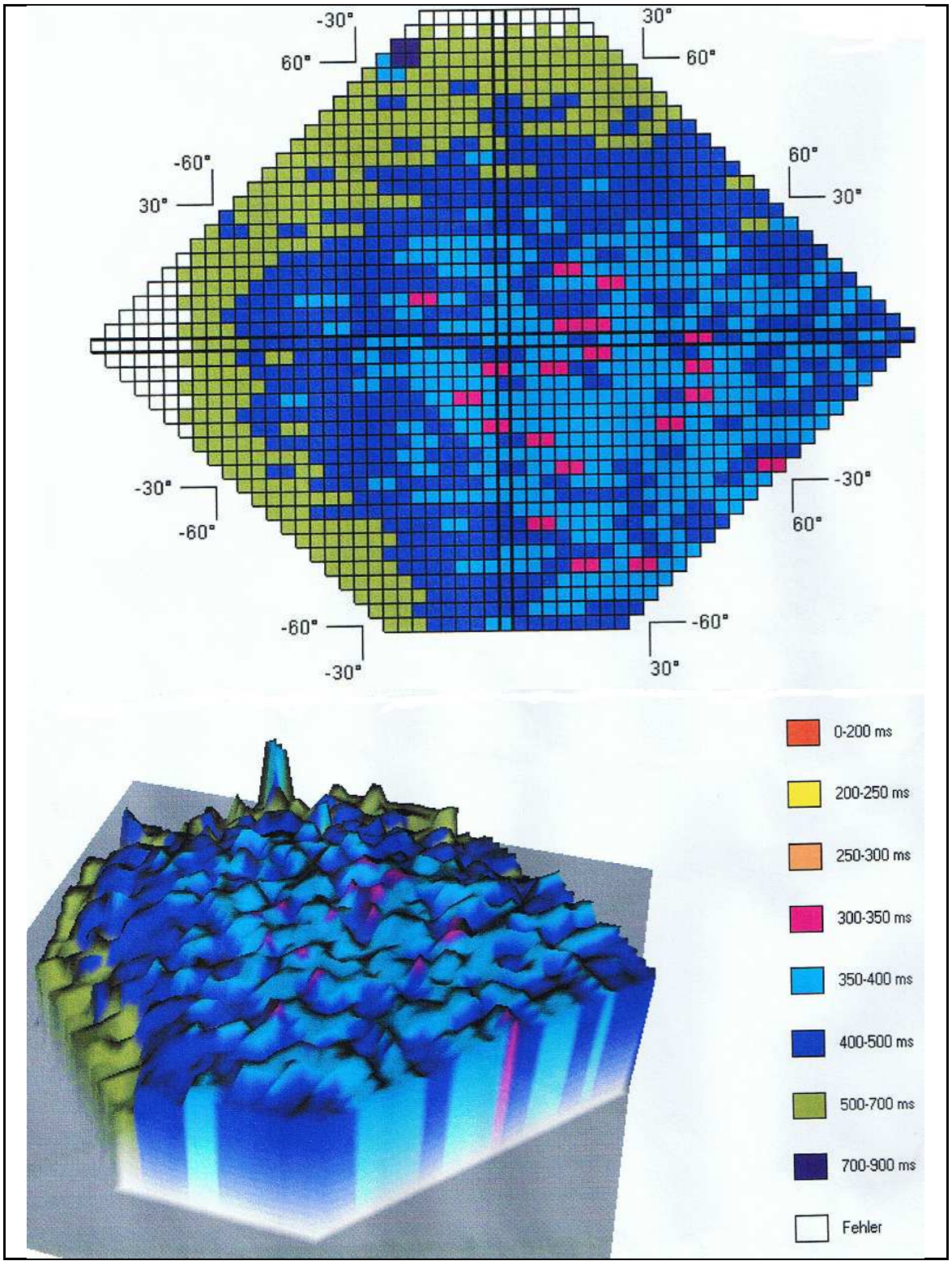

Abbildung 3.2.7. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 30-39 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 442 ms.

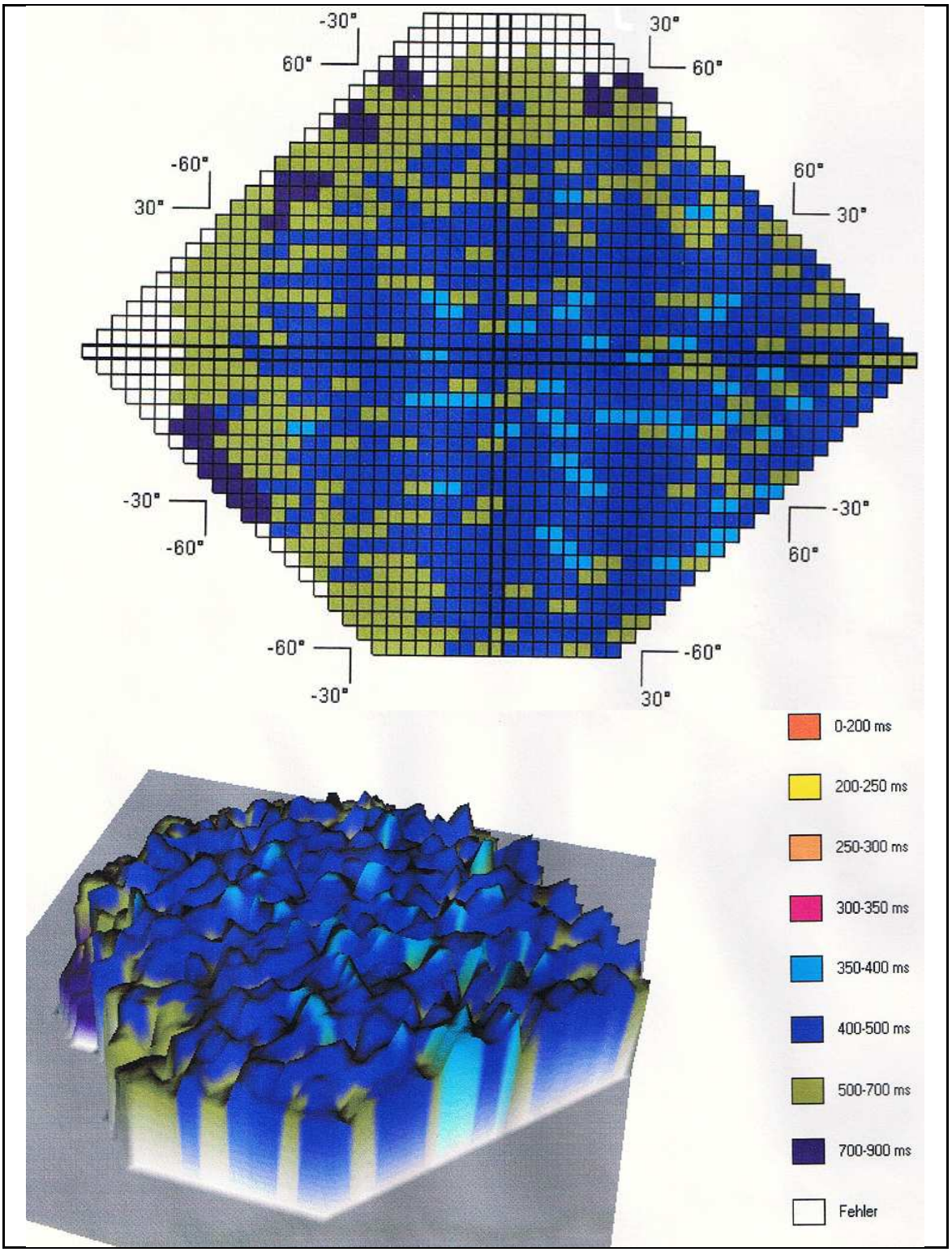

Abbildung 3.2.8. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 40-49 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 450 ms.

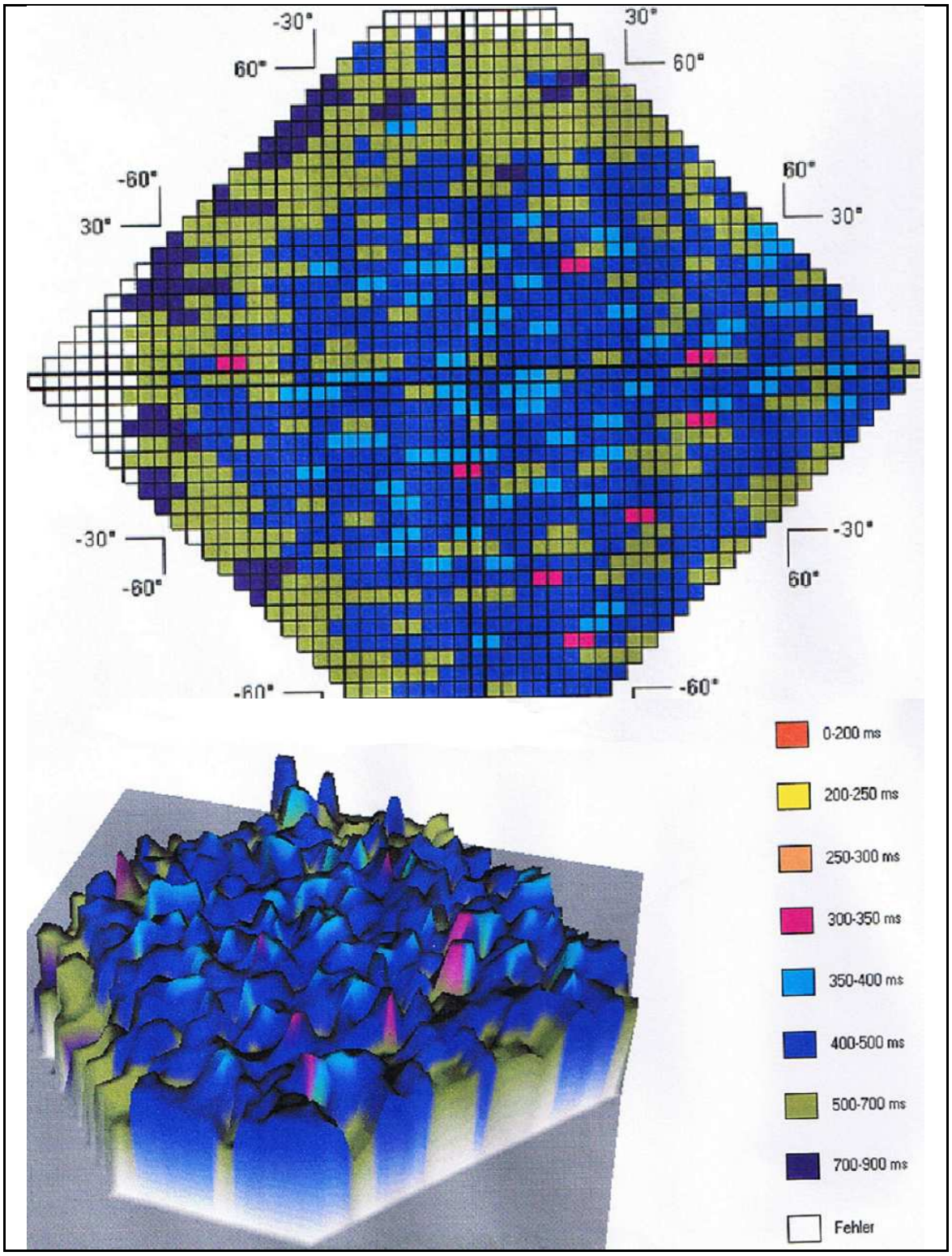

Abbildung 3.2.9. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 40-49 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 505 ms.

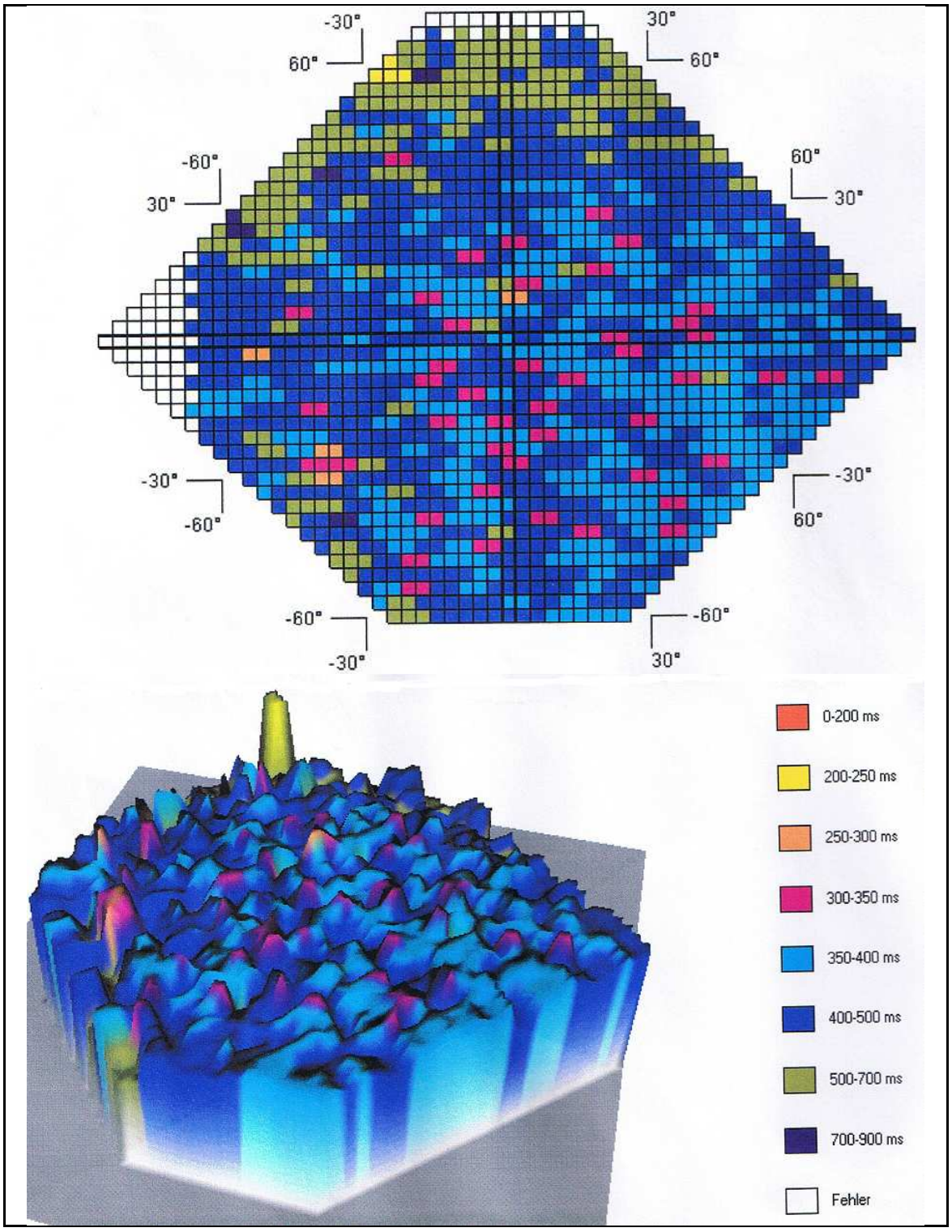

Abbildung 3.3.0. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 50-59 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 406 ms.

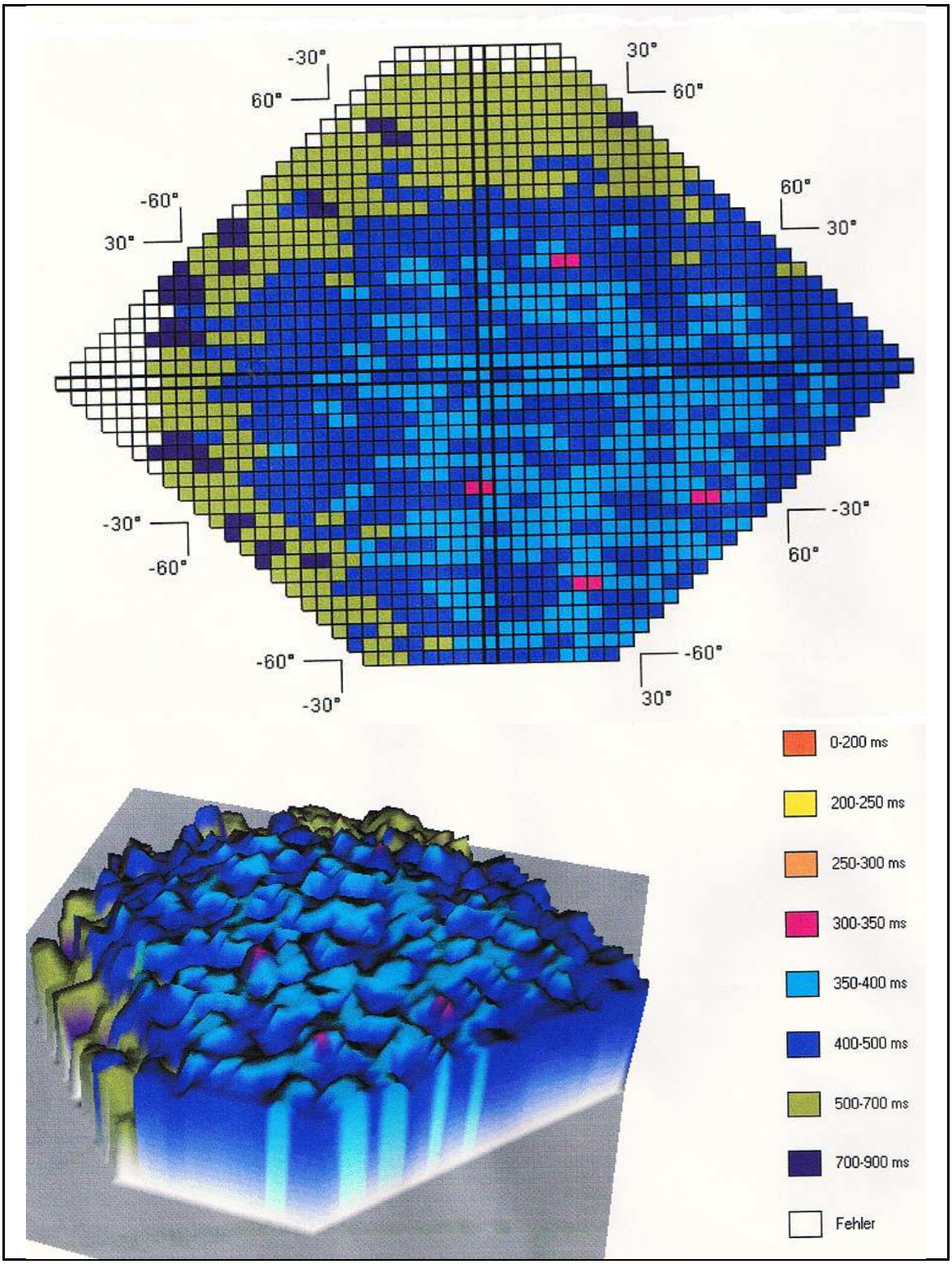

Abbildung 3.3.1. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 50-59 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 417 ms.

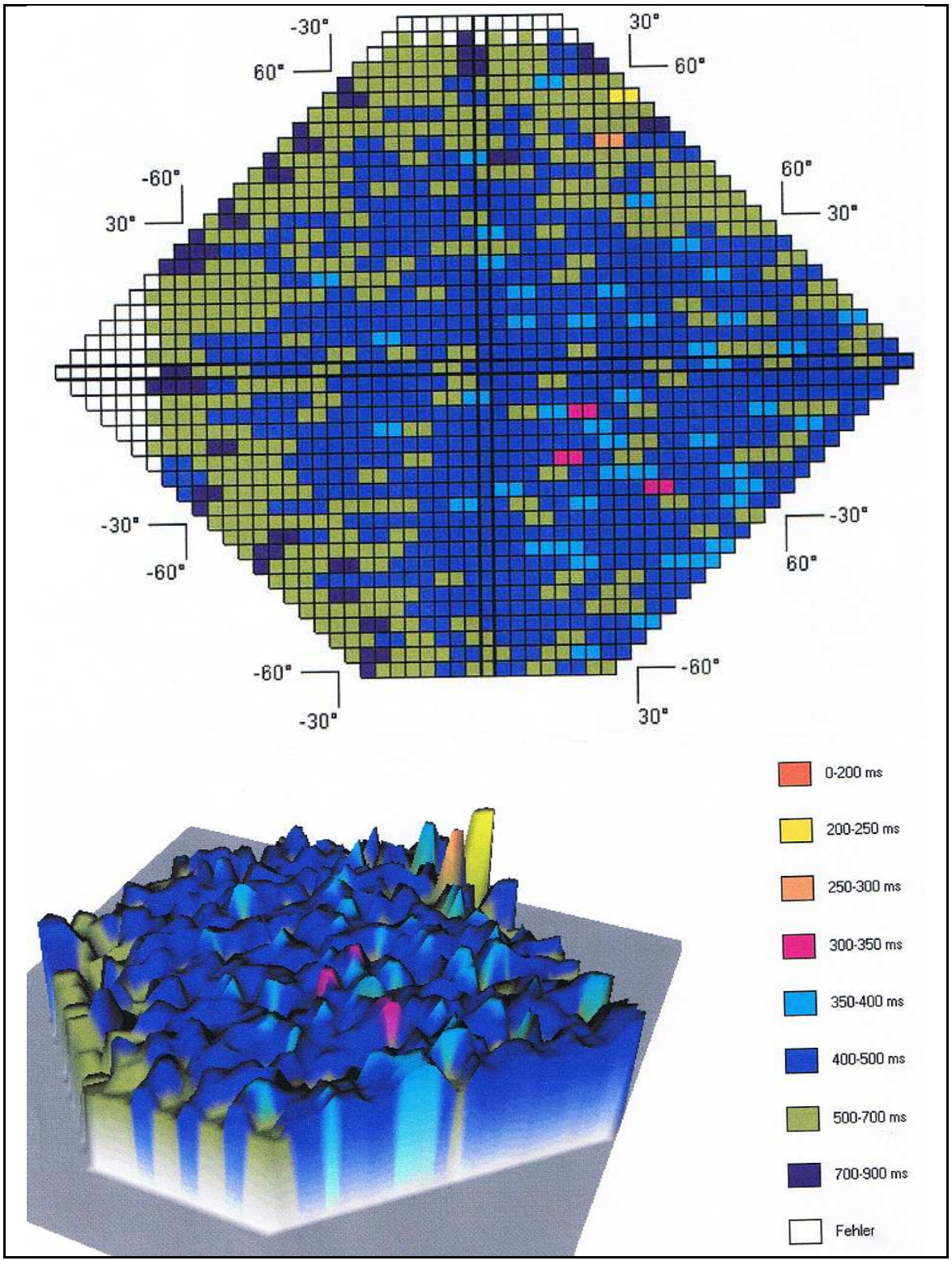

Abbildung 3.3.2. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen 60-69 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 446 ms.

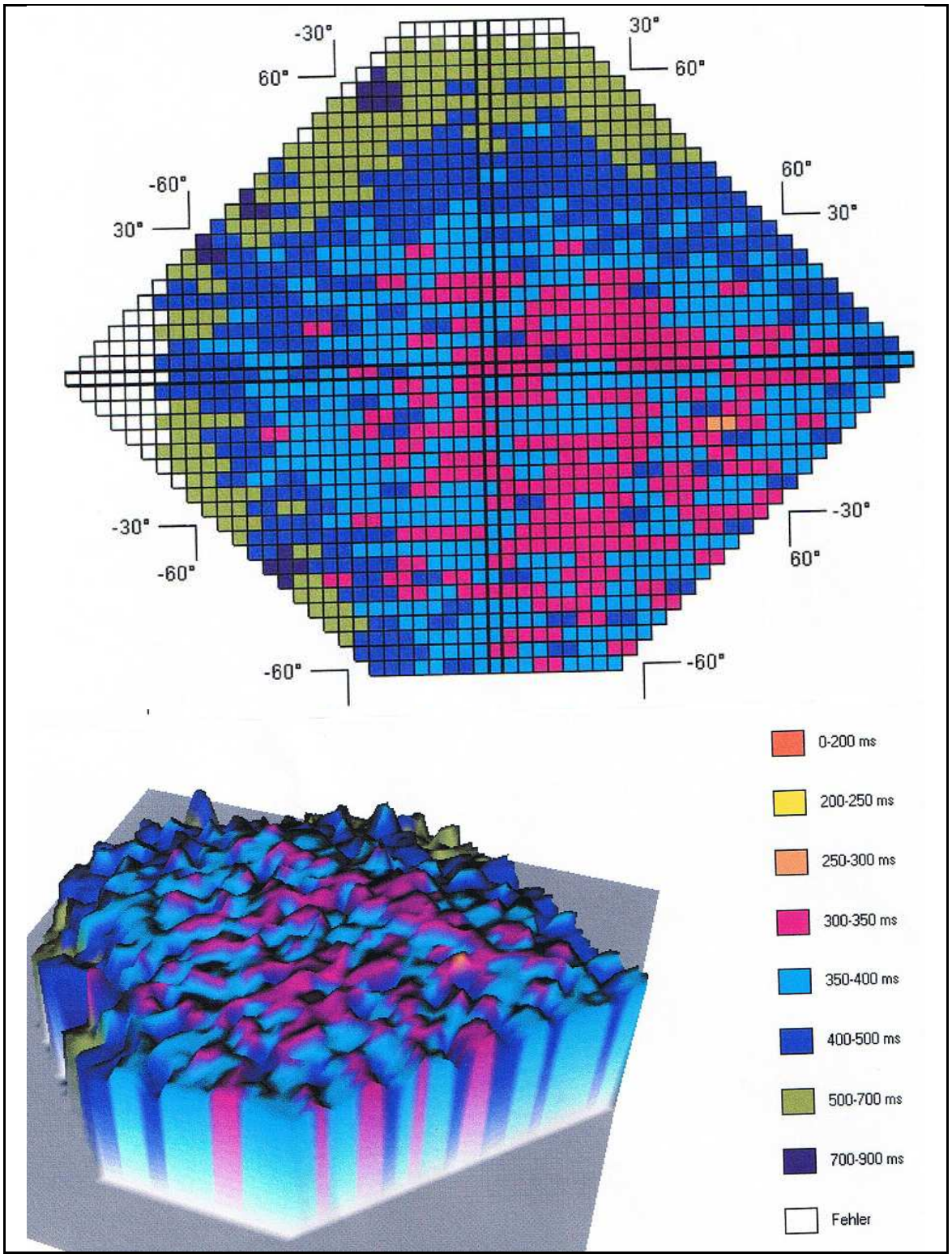

Abbildung 3.3.3. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Männer 60-69 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 372 ms.

Die obere Peripherie des Gesichtsfeldes weist ebenfalls den o.g. grünen Saum auf. Er ist zwischen 20° und 30° breit und erstreckt sich bis etwa X = 39°, reicht also nur ein Stück in die temporale Peripherie „oben rechts“. Die dreidimensionale Abbildung lässt bei beiden Geschlechtern einige dunkelrote Gipfel mit deutlich niedrigeren Reaktionszeiten (300-350 ms) als in der Umgebung erkennen. Diese Gipfel bilden teilweise Cluster, kommen jedoch auch recht isoliert vor. Hinsichtlich des Alters gibt es zu deren Anteil und Ausbreitung aber keinen erkennbaren Zusammenhang. Auffallend ist, dass der obere Teil des Gesichtsfeldes größere Schwankungen der Reaktionszeiten aufweist als andere Regionen. So ist die obere Peripherie teils mit den o.g. grünen Säumen versehen, teils kommen aber auch sehr kurze Reaktionszeiten vor. Diese Unterschiede fallen sowohl zwischen als auch innerhalb der geschlechts-spezifischen Gruppen auf. So lassen sich beispielsweise in der Gruppe „Frauen 60-69 Jahre“ in der oberen Peripherie (etwa x = 30°; y = 50°) kleine Inseln von schnellen Reaktionszeiten (um 200 ms) ausmachen. Entsprechend bei den „Männern 20-29 Jahre“ im Gebiet um x = -15° und y = 60° Reaktionszeitinseln von 350 ms. Vergleiche hierzu auch Abbildung 3.3.4.

Die zentralen Anteile des Gesichtsfeldes bis 15° Exzentrizität zeigen keine alters- oder geschlechts-spezifischen Unterschiede. Im Mittel liegen die Reaktionszeiten in diesem Gesichtsfeldbereich zwischen 300 und 400 ms.

Die untere Hälfte des Gesichtsfeldes, also -y; x, zeigt insgesamt eine hohe Konstanz der Reaktionszeiten. Von o.g. Clustern mit schnellen Reaktionen abgesehen, liegen hier meistens die Reaktionszeiten bei „blau“ (350 bis 400 ms).

Insgesamt betrachtet ist allen Gruppen ein peripherer Saum mit höheren Reaktionszeiten gemeinsam, ähnliche Reaktionszeiten im Zentrum sowie „Gipfel“ mit lokal niedrigeren Reaktionszeiten.

3.2.1 Einzelfalldarstellung weibliche Probanden ab 70 Jahren

Wie im Abschnitt „Material und Methoden“ beschrieben, liegen für die Gruppe über 70 Jahre ein männlicher Proband und drei weibliche Probanden vor.

Die Fehlreaktionen liegen bei den Frauen ab 70 Jahren bei einem Median von 181. Dies ist deutlich mehr als der höchste Medianwert der darunterliegenden Altersklassen (85 für Altersgruppe 60-69 Jahre). Eine entsprechende Zunahme der Fehlreaktionen zur Peripherie hin gibt Tabelle 3.2.5 wider. Im Gegensatz zu den darunterliegenden Altersklassen besitzt die Peripherie aber nicht die größte Spannweite.

Tabelle 3.2.5. Fehlreaktionen weibliche Probanden über 70 und unter 94 Jahre.

	Median	Maximum	Minimum	Spannweite
Globalbereich	181	218	134	84
Außenbereich	142	145	105	40
Mittelbereich	20	69	8	61
Innenbereich	0,33	1	0	1

Für die Frauen liegt die Reaktionszeit im Globalbereich bei einem Medianwert von 704 ms. Wie in allen Altersgruppen ist diese in der Peripherie höher (976 ms im Außenbereich, 424 ms im Innenbereich). Dies ist deutlich mehr als der höchste Median in den darunterliegenden Altersklassen (446 ms im Globalbereich der Gruppe „Frauen 60-69 Jahre„). Ähnlich wie bei den Fehlreaktionen besitzt die Peripherie nicht die höchste Spannweite. In Tabelle 3.2.6 wird die deskriptive Statistik der Reaktionszeiten für diese Gruppe dargestellt.

Tabelle 3.2.6. Reaktionszeiten [ms] weibliche Probanden über 70 Jahre .

Gesichtsfeldbereich	Median	Maximum	Minimum	Spannweite
Globalbereich	704	739	557	182
Außenbereich	976	997	792	205
Mittelbereich	538	705	394	311
Innenbereich	424	437	328	109

Statt eines grünen Saumes finden sich in der nasalen Peripherie viele weiße Felder, die sehr langen Reaktionszeiten über 900 ms entsprechen. In zentralen Gesichtsfeldbereich ist allerdings kein Unterschied zu den darunterliegenden Altersklassen erkennbar (auch hier vorwiegend blaue Felder mit 350-400 ms).

Hinsichtlich kurzer Reaktionszeiten ist auffällig, dass in der oberen, nasalen Peripherie besonders schnelle Reaktionen von nur 250-300 ms vorliegen. Da es sich bei den Abbildungen um Überlagerungen von mehreren Gesichtsfeldern handelt, müssen alle weiblichen Probanden in dieser Altersklasse im o.g. Bereich gut abgeschnitten haben. Diese Beobachtung deckt sich mit der aus der Gruppe „Frauen 50-59 Jahre“, welche in diesem Bereich sich deutlich abhebende, kurze Reaktionszeiten aufweisen.

3.2.2. Einzelfalldarstellung Frau 94 und Mann 77 Jahre

Wie unter „Material und Methoden“ bereits aufgeführt, liegt auch eine Messung von einer Probandin mit 94 Jahren vor, die aber wegen allgemeiner Erschöpfung nach der Hälfte abgebrochen werden musste. Dementsprechend liegen weiße Felder als Ausdruck nicht komplett vermessener Areale vor. Die deskriptive Statistik zu dieser Messung ist in Tabelle 3.2.7 zusammen mit der einzigen Messung eines männlichen Probanden von 77 Jahren dargestellt.
Die Anzahl der Fehlreaktionen für die Frau mit 94 Jahren bzw. den Mann mit 77 Jahren betragen 92 bzw. 137 und fallen damit deutlich niedriger aus als in den darunterliegenden Altersgruppen. Ähnliches gilt für die Mediane der Reaktionszeiten im globalen Gesichtsfeld. Diese sind mit 434 ms bei der 94 jährigen Frau bzw. mit 337 ms beim 77 jährigen Probanden niedriger als in der darunter liegenden Altersklasse (hier 704 ms bzw. 372 ms).

Tabelle 3.2.7 . Deskriptive Statistik für 94-jährige Frau und 77-jährigen Mann im globalen Gesichtsfeld.

Proband	Reaktionszeit Median	Reaktionszeit Minimum Maximum	Fehl-reaktionen	Spät-reaktionen	Früh-reaktionen
Probandin 94	434	285 [1400]	92	1	0
Proband 77	337	244 [1400]	137	0	0

Die Abbildungen 3.3.4 und 3.3.5 enthalten die graphischen Gesichtsfelddarstellungen der über 70 jährigen Probanden.

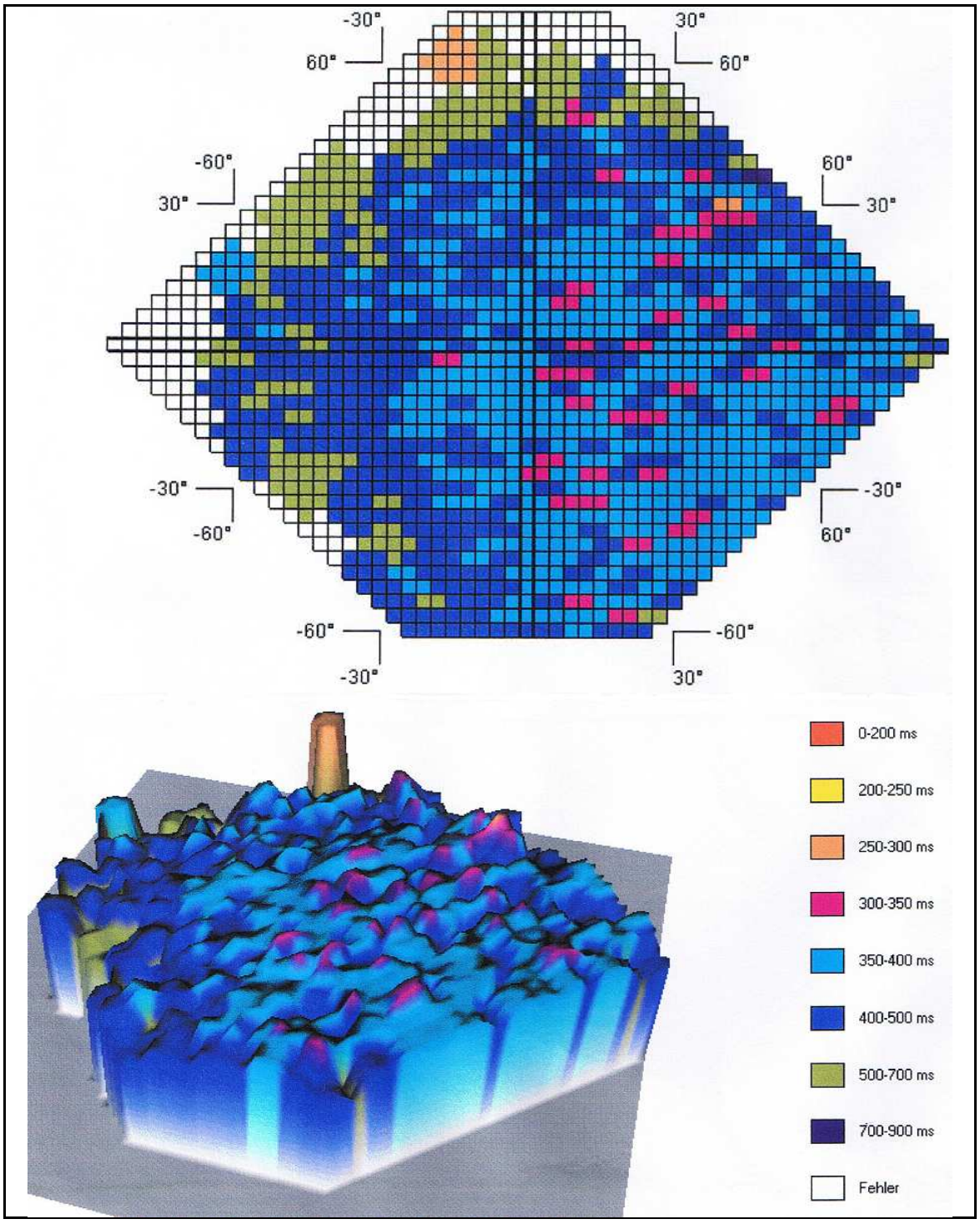

Abbildung 3.3.4. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frauen über 70 Jahre. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese Gruppe 704 ms.

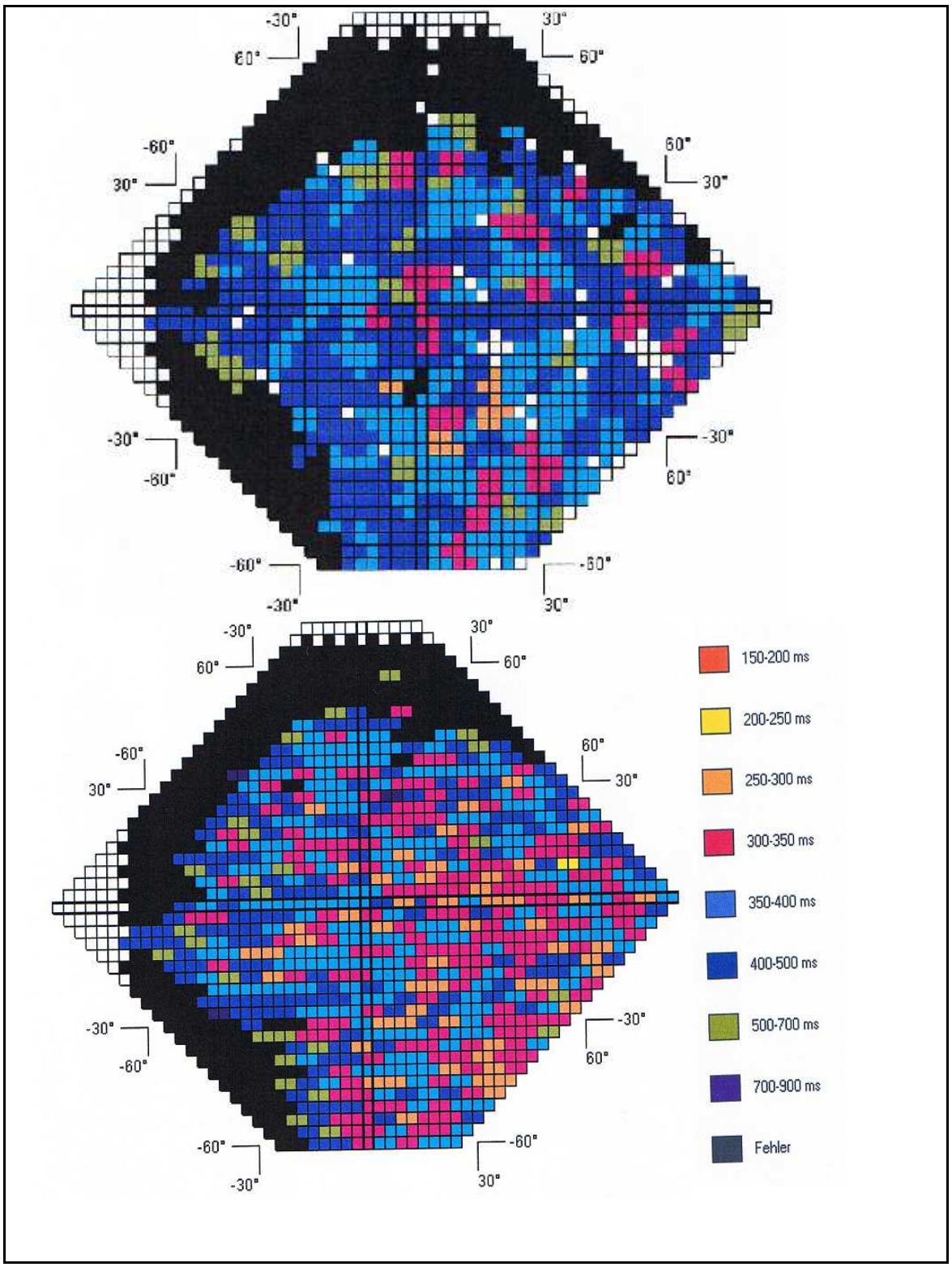

Abbildung 3.3.5. Zweidimensionale Gesichtsfelddarstellung Frau 94 Jahre (oben) und Mann 77 Jahre (unten). Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt für diese 434 bzw. 337 ms.

3.2.3 Illustration des Einflusses der Leuchtintensität auf die Reaktionszeit

Am Beispiel der Abbildung 3.3.6 wird der Einfluss der Leuchtdichte auf die Leistung der Probanden illustriert.

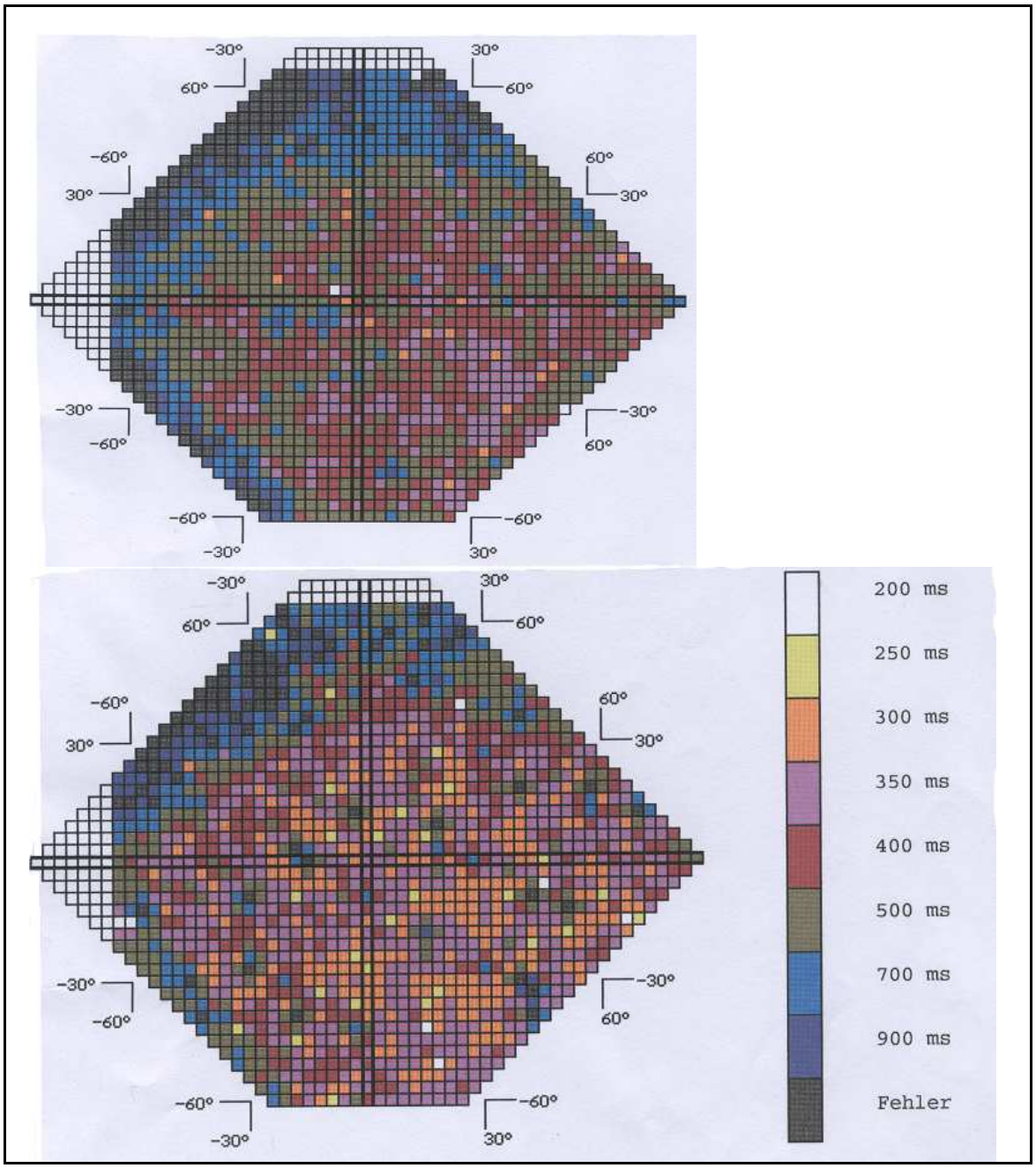

Abbildung 3.3.6. Zweidimensionale Gesichtsfelddarstellung am selben Probanden (Alter 27 Jahre). Oben LED-Leuchtdichte 1/10 der Leuchtdichte der unteren Messung. Median des globalen Gesichtsfeldes oben 420 ms, unten 350 ms.

Sie stellt zwei Gesichtsfeldmessungen von jeweils demselben Probanden gegenüber. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der LED-Leuchtdichte. Auf der in Abbildung 3.3.7 unten dargestellten Messung war die Leuchtdichte um zehnfach höher. Sowohl in der Peripherie als auch im Zentrum fallen hierbei deutlich niedrigere Reaktionszeiten auf. Die Erhöhung der Reizleuchtdichte - und damit des Kontrastes - führt zu einer Abnahme der Reaktionszeit.

3.2.4 Patienten

Es folgt die Einzeldarstellung von vier Patienten mit ZNS-Läsionen unterschiedlicher Genese. Sie erhielten neben der Diagnostik am LRP eine umfangreiche visuelle Vordiagnostik und waren mit anderen Verfahren, z.B. MRT oder CCT, untersucht worden. Des Weiteren wurden, je nach Erkrankung, ergänzende perimetrische Verfahren und neuropsychologische Leistungstests durchgeführt. Zur genaueren Beschreibung des Kollektivs siehe Kapitel „Material und Methoden“. Tabelle 3.2.8 gibt eine Übersicht hinsichtlich der Gesichtsfeldleistungen am LRP.

Tabelle 3.2.8. Darstellung der wichtigsten Parameter für das globale Gesichtsfeld.

	Patient A	Patient B (Erstuntersuchung)	Patient C	Patient D
Median der Reaktionszeiten	800,5	491	1400	436
Frühreaktionen	1	0	0	0
Spätreaktionen	5	8	2	0
Fehlreaktionen	205	136	224	116

3.2.5 Patientin A. Insult im Posteriorstromgebiet, Migräne mit Aura sowie symptomatische Epilepsie

Frau A., geb. 1949, erlitt 06/93 einen beidseits, okzipital lokalisierten Insult mit beidseitigen hochgradigen Visusverlusten im Zuge einer rechtsseitigen Hemianopsie. Diesem Ereignis sind zwei abdominelle Eingriffe vorweggegangen. Neben dem Gesichtsfelddefekt waren vor allem mnestische Störungen führend. Die Dopplersonographie der hirnzuführenden Gefäße zeigte bis auf leichte Plaquebildungen keine richtungweisenden Flusswiderstandserhöhungen. Das EKG zeigte keine Hinweise für Vorhofflimmern.

Angiographisch wurde als Ursache zunächst eine zerebrale Angiitis eruiert, es fanden sich jedoch keine Hinweise auf eine systemische Vaskulitis. Unter der Therapie mit Azathioprin, einem Immunsuppressivum, erfolgte zunächst eine deutliche Besserung der Sehstörungen.

Frau A. erhielt seit dem dritten Monat nach dem Insult im Institut für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation ein mehrjähriges neurovisuelles Training von fast 100 Sitzungen. Abbildung 3.3.7 zeigt die Originaldokumentation des Gesichtsfeldzuwachses für beide Augen in der dynamischen Perimetrie (Tübinger Handperimeter mit Lichtreizdurchmesser 112′, Leuchtdichte zentraler Fixationspunkt = 1000 asb, Stimulusleuchtdichte = 10 asb).

Im vom Gesichtsfelddefekt stärker betroffenen rechten Auge war aufgrund von Fixationsproblemen anfangs nur eine grobe Vermessung möglich, vom gesamten Gesichtsfeld waren im wesentlichen nur Teile des linken oberen Quadranten erhalten geblieben, der die Fovea gerade noch mit einschloß. Die Patientin gab erhebliche Sehprobleme im Alltag an, wie z.B. das Stoßen gegen den Türrahmen.

Zusätzlich zum o.g. Gesichtsfelddefekt kam es im Verlauf zu weiteren Visuseinschränkungen von anfallsartigem Charakter. Folgende Ursachen lagen zugrunde:

1.) 08/94 trat erstmals ein symptomatischer Grand-mal-Anfall auf, welcher mit intermittierenden, nahezu vollständigen Visusverlusten einherging. Durch eine Prophylaxe mit Carbamazepin konnte Anfallsfreiheit erreicht werden.

2.) Es erfolgten zahlreiche Wiederaufnahmen aufgrund von plötzlichen, wiederholten Visusverlusten im Zusammenhang mit rechtsseitigen Cephalgien und Übelkeit. Auf gezieltes Fragen wurden bereits für die Zeit vor dem Insult rechtsseitige Cephalgien sowie Übelkeit angegeben. Zusätzlich wurde die Familienanamnese für diese Symptomatik als positiv angegeben. Die Diagnose der zerebralen Angiitis wurde folglich ergänzt um eine Migräne mit Aura. Diesbezüglich erfolgte eine Prophylaxe mit Metoprolol. Hierunter wurde eine deutliche Reduktion der Cephalgien erreicht.

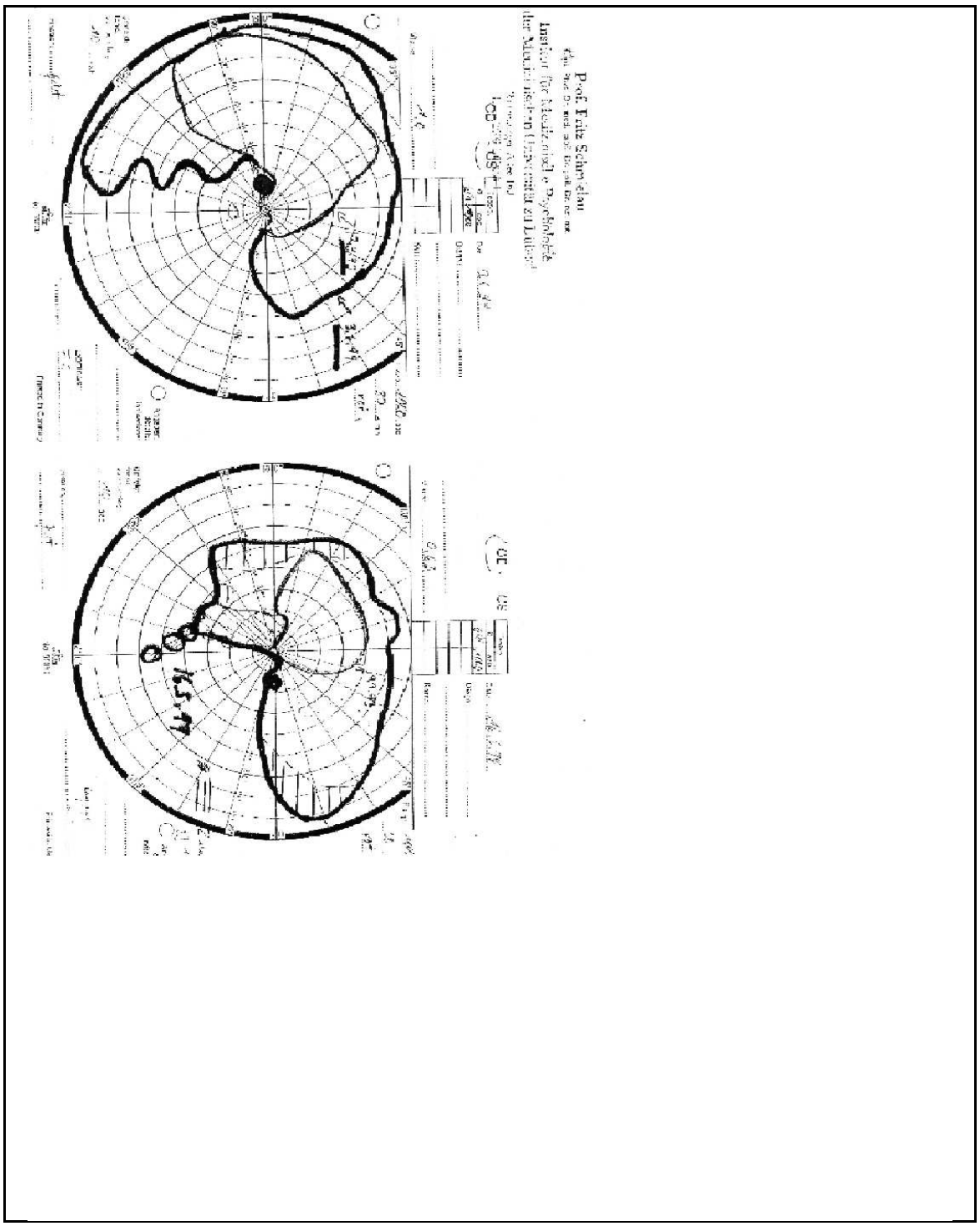

Abbildung 3.3.7. Gesichtsfeldzuwachs der Patientin A durch Training innerhalb von 9 Monaten, vermessen mit dem Tübinger Handperimeter. Originalaufzeichnung. Beachte die zwei Isopteren zu den unterschiedlichen Zeitpunkten.

Die antikonvulsive Medikation mit Carbamazepin sowie die immunsuppressive Medikation mit Azathioprin wurden jeweils fortgeführt.

Nach mehreren Jahren neurovisuellen Trainings, als Folge dessen sich das Gesichtsfeld deutlich vergrößert hatte, erfolgte eine genaue Kontrollvermessung des Gesichtsfeldes am LRP mit einer Messdichte von 700 LED pro Auge. Es sollte das weitere Rehabilitationspotenzial - z.B. in Form von Inseln und Inselgruppen im anopen Gesichtsfeldbereich - abgeschätzt werden.

In Abbildung 3.3.8 ist die genaue Vermessung des Restdefektes am LRP dokumentiert. Es ist zu beachten, dass Reaktionen über 900 ms im Gegensatz zur Referenzgruppe bei Patienten schwarz dargestellt sind, da es sich hier um Einzelmessungen und nicht um überlagerte Messungen handelt. Zusätzlich soll mit der schwarzen Farbe der Gesichtsfelddefekt „aus Patientensicht” besser illustriert werden. Die Leuchtdichte der LED entspricht derjenigen der Referenzgruppe.

Zu diesem Zeitpunkt gibt die Patientin eine deutliche Besserung der visuellen Orientierung im Alltag an. So zeigt die abschließende Vermessung, dass das Gesichtsfeld auf einer horizontalen Achse weit nach rechts peripher reicht. Ab einer Höhe von ca. 40 Grad nach oben sowie 25 bis 30 Grad nach unten zeigt das Gesichtsfeld aber noch nach wie vor Defekte, insbesondere im rechten unteren Quadranten. Dabei ist der Defekt nach unten inhomogener geformt und zeigt die bereits erwähnten Sehinseln.

Die Reaktionszeit in zentraleren Bereichen des Gesichtsfeldes ist im Vergleich zur Referenzgruppe herabgesetzt. Hier liegt der Median der Reaktionszeit bei etwa 600 ms.

Es erfolgte eine Fortführung des Trainings, da aufgrund der oben erwähnten Inseln ein weiteres Potenzial gesehen wurde.

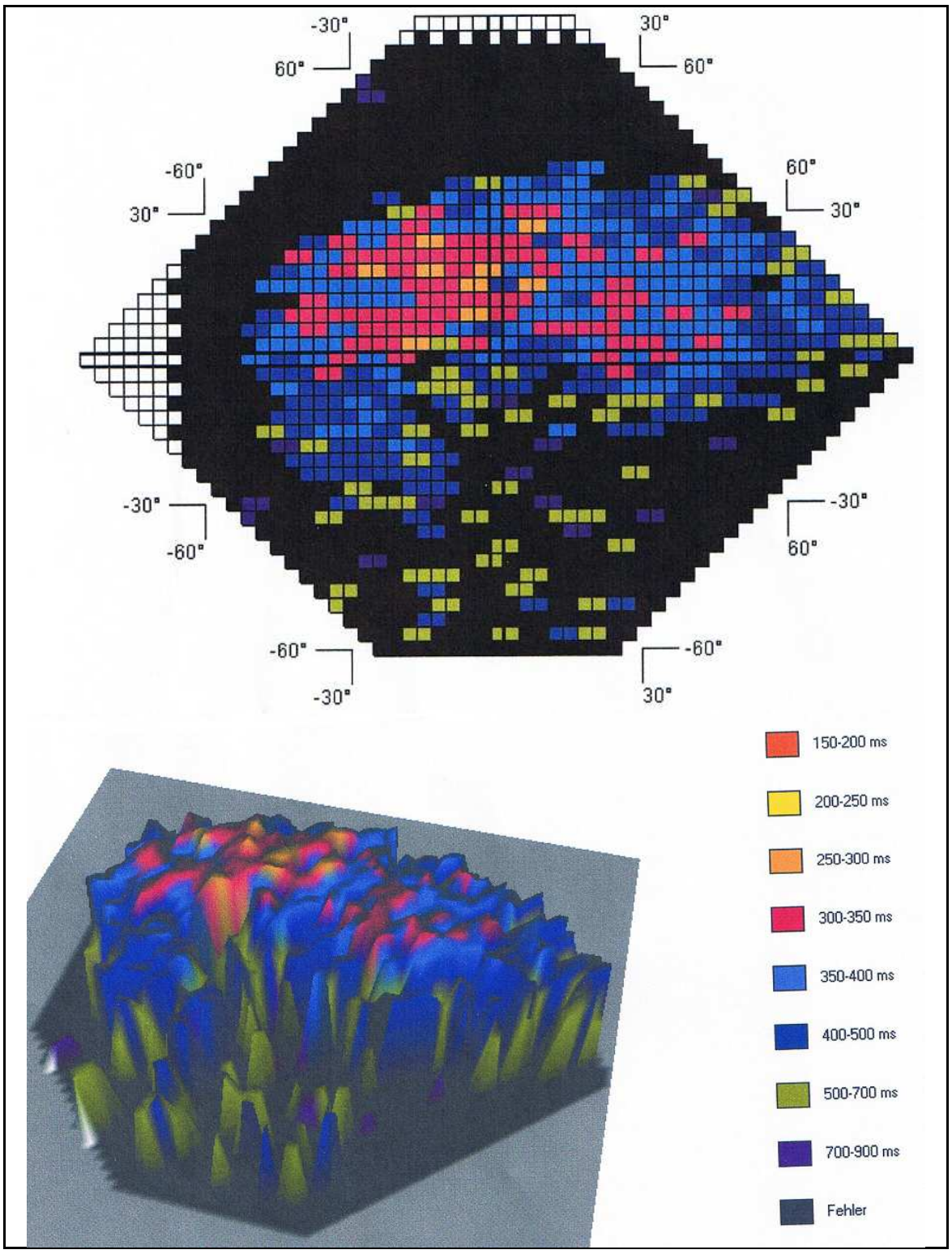

Abbildung 3.3.8. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung der Patientin A. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt 800,5 ms.

3.2.6 Patient B. Insult bei zerebraler Mikroangiopathie

Patient B., geboren 1930, berichtet über eine akut aufgetretene Sehstörung im zeitlichen Zusammenhang mit einer Malariaprophylaxe. Augenärztlich wurde eine homonyme Hemianopsie diagnostiziert. Das MRT zeigte keinen Hinweis für zerebrale Blutungen oder Ischämien.

Im Januar 2003 bemerkte Patient B. beim Aufstehen aus dem Sessel eine plötzliche Schwäche der rechten Körperhälfte. In der gezielten Nachfrage wurden Kopfschmerzen, Schwindel, Bewusstlosigkeit und Übelkeit verneint. Unter dem Verdacht auf einen linkshirnigen Insult wurde Patient B. in eine neurologische Akutklinik eingeliefert. Dort wurde eine Hemiparese rechts (Kraftgrad etwa 4/5) festgestellt. Der Pat. gab weiterhin Sehprobleme an, insbesondere auch Einschränkungen im Lesen und Schreiben. Bei Aufnahme in der neurologischen Akutklinik konnte die bekannte homonyme Hemianopsie fingerperimetrisch nicht bestätigt werden. Weiter fielen eine leichte Linksbetonung der Muskeleigenreflexe auf. Der sog. ASR (Achillessehnenreflex) war beidseits nicht auslösbar. Der Finger-Nase-Versuch (FNV) zeigte eine leichte Dysmetrie nach links. Der Patient gab Wortfindungsstörungen im Sinne einer leichten motorischen Aphasie an.

Im CCT zeigten sich gegen die Norm erweiterte innere und äußere Liquorräume. Weiterhin imponierten fleckig konfluierende Dichteminderungen im Marklager beidseits wie bei einer ausgeprägten subkortikal arteriosklerotischen Enzephalopathie. Ein Anhalt für einen frischen Herdbefund fand sich ebenso wenig wie für eine frische Blutung oder eine Raumforderung. Nebenbefundlich zeigte sich eine Ektasie der A. basilaris.

Im Intervall wurde ein MRT durchgeführt. Hierin zeigte sich ein mittelständiges, symmetrisches und deutlich erweitertes Ventrikelsystem. Die äußeren Liquorräume waren ebenfalls erweitert. Um die Ventrikel herum fanden sich multiple signalintense Bezirke in der T2-Wichtung, welche zum Teil auch konfluierten und in der Pons ebenfalls in Erscheinung traten. In der T1-Wichtung stellten sich diese Bezirke zum Teil als scharf berandete minderintense Bezirke dar. Frische Insultbezirke fanden sich nicht. Strömungsrelevante Stenosen der hirnversorgenden Gefäße konnten in der Duplexsonographie nicht gefunden werden, wohl aber Plaques.

Das EEG zeigte einen Normalbefund. Im EKG ergab sich kein Hinweis für Vorhofflimmern.

Im internistischen Befund fielen klinisch und röntgenologisch Zeichen der Herzinsuffizienz auf, welche durch Gabe von Furosemid 60 mg gebessert werden konnten.

An kardialen und vaskulären Risikofaktoren sind ein arterieller Hypertonus sowie eine Hypercholesterinämie zu nennen.

Es wurde von einer Mikroembolisation bei zerebraler Mikroangiopathie als Ursache der rechtsseitigen Hemiparese ausgegangen.

Wenige Tage nach Entlassung aus der Akutklinik und vor Behandlung in der neurologischen Rehabilitation erfolgte im Institut für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation eine Verifizierung des Gesichtsfelddefektes, welchen der Patient als weiterhin störend angab. Das Gesichtsfeld des rechten Auges ist im oberen Teil der Abbildung 3.3.9 dargestellt.

Bei gleicher Leuchtdichte fallen im Vergleich zur Referenzgruppe Defekte ab einer Höhe von 20 Grad im linken und rechten Teil der oberen Gesichtsfeldhälfte auf. Der Median der Reaktionszeit beträgt für das globale Gesichtsfeld 492 ms. Inseln von Restsehfähigkeit sind kaum auszumachen. Auffällig sind auch zahlreiche klein umschriebene Skotome, graphisch entsprechend kleinen schwarzen Inseln. Diese fallen insbesondere in der rechten Gesichtsfeldhälfte auf. Weiter peripher sinkt die Reaktionszeit auf Werte zwischen 700 und 900 ms, in der rechten Gesichtsfeldhälfte stärker als in der linken. Dieser Befund entspricht nicht mehr der vor dem Insult vorbeschriebenen homonymen Hemianopsie. Offenbar hat sich der Gesichtsfeldbefund mittlerweile verändert.

Der untere Teil der Abbildung 3.3.9 zeigt das Gesichtsfeld nach einem etwa dreimonatigen Gesichtsfeldtraining. Der Median des globalen Gesichtsfeldes beträgt jetzt 391,5 ms. Es fällt auf, dass nicht nur peripher, sondern auch zentral bessere Ergebnisse erzielt wurden.

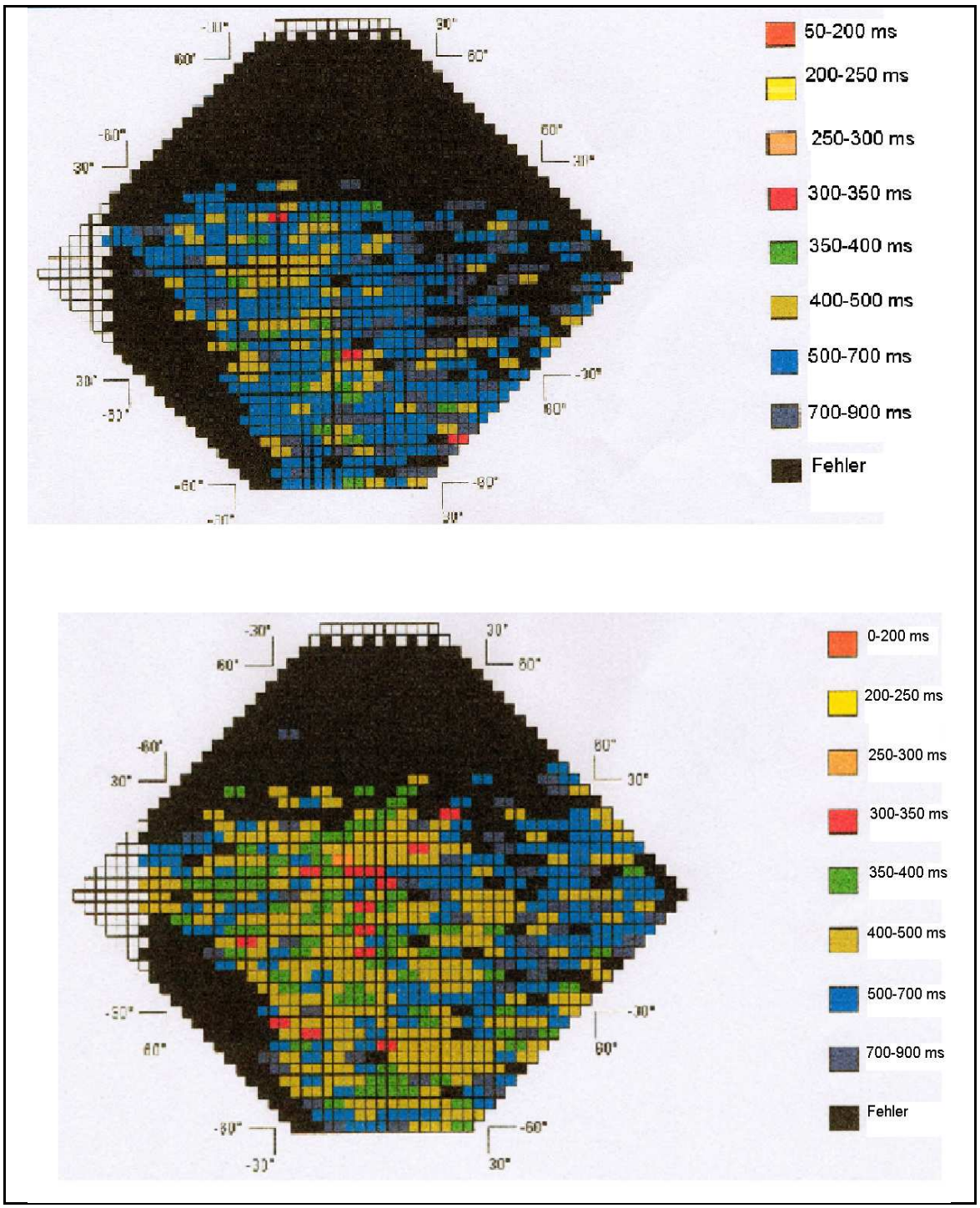

Abbildung 3.3.9. Zweidimensionale Gesichtsfelddarstellung für den Patienten B. Oben Darstellung vor dem Training, unten nach dem dreimonatigen Training. Der Median der Reaktionszeiten beträgt oben 492 ms, unten 391,5 ms.

3.2.7 Patient C. Oligodendrozytom II

Patient C., geboren 1964, erlitt im Herbst 1993 erstmals einen Grand-mal-Anfall, gefolgt von komplex partiellen Anfällen ca. zweimal pro Monat. Des weiteren bemerkte der Pat. eine Minderung der allgemeinen Leistungsfähigkeit, die jedoch auch im Zusammenhang mit der zu diesem Zeitpunkt bereits bestehenden antikonvulsiven Medikation stehen könnte. Die Diagnostik führte im Januar zum Nachweis eines Inseltumors links (Histologie: Oligoastrozytom II). Die MRT-Verlaufskontrollen zeigten eine Größenzunahme von 40 cm^3 auf zuletzt 95 cm^3 innerhalb von neun Monaten. Der Tumor reichte breitbasig an die innere Kapsel heran, nach vorne bis zum Vorderhorn, das frontale und temporale Operculum infiltrierend und temporo-medial bis in den Hippocampus.

Von oben genannten Symptomen abgesehen war der Patient zunächst neurologisch insgesamt unauffällig.

Eine SPECT-Untersuchung klassifizierte den Tumor als gering stoffwechselaktiv, so dass eine PCV-Chemotherapie nicht sinnvoll erschien. Statt dessen wurde am 19.11.1998 eine Tumorresektion (links temporale Trepanation) durchgeführt.

Der Tumor wurde hierbei subtotal entfernt. Der Patient erhielt anschließend zahlreiche Chemotherapiezyklen mit Temodal.

Die MRT-Kontrollen zeigten keine signifikanten Größenzunahmen des Resttumors, jedoch waren klinisch eine diskrete Mundastschwäche rechts sowie eine homonyme Hemianopsie progredient. Der Patient gab vor allem progrediente Schwierigkeiten beim Lesen an. Es konnten längere Wörter nicht mehr zusammenhängend erkannt werden, da einzelne Buchstabenelemente fehlten.

Aus diesem Grund erfolgte 2003 eine Vorstellung im Institut für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation mit dem Auftrag der visuellen Neurorehabilitation. Insgesamt stellt sich hier eine partielle Hemianopsie nach rechts dar. Der Median der Reaktionszeiten lag bei 1400 ms. Der Gesichtsfelddefekt beginnt dabei auf den horizontalen Meridian bezogen relativ zentral, was die o.g. Problematik beim Lesen erklärt. Der Grenzverlauf des Gesichtsfelddefektes

verläuft dabei recht gerade und kongruent, so dass von einem kortikalen Ursprung ausgegangen werden muss.

Im Zuge der fein gerasterten Vermessung des Gesichtsfeldes fielen auch bei diesem Patienten kleine Inseln von „Restgesichtsfeld” im anopen auf, welche sich in der dreidimensionalen Darstellung als Gipfel zeigen (vgl. Abbildung 3.4.0). Diese Inseln sind bisweilen recht weit voneinander isoliert. Die Reaktionszeiten innerhalb der Inseln sind überwiegend hoch. Insgesamt kann festgestellt werden, dass der Übergang vom anopen zum intakten Gesichtsfeld nicht kontinuierlich ist. Die schwarzen Felder in der linken oberen und unteren Peripherie (nasaler Saum) sind nicht zwingend als pathologisch zu betrachten, da das Gesichtsfeld nach nasal bzw. oben individuellen Schwankungen innerhalb der Probandengruppe unterliegt.

Innerhalb des intakten Gesichtsfeldes liegen durchaus schnelle Reaktionszeiten vor. Die hohen Gipfel der dreidimensionalen Gesichtsfelddarstellung in Abbildung 3.4.0 sind Ausdruck zahlreicher schneller Reaktionszeiten im intakten Gesichtsfeld.

Neben dem Gesichtsfelddefekt war zu beobachten, dass das Formerkennungsvermögen in der rechten Gesichtsfeldhälfte eingeschränkt war. Das Farbdiskriminationsvermögen war dort nicht beeinträchtigt.

Der Pat. nahm nach den oben aufgeführten Messungen an dem internetbasierten Gesichtsfeldtraining für den Heimbereich teil (siehe Diskussion).

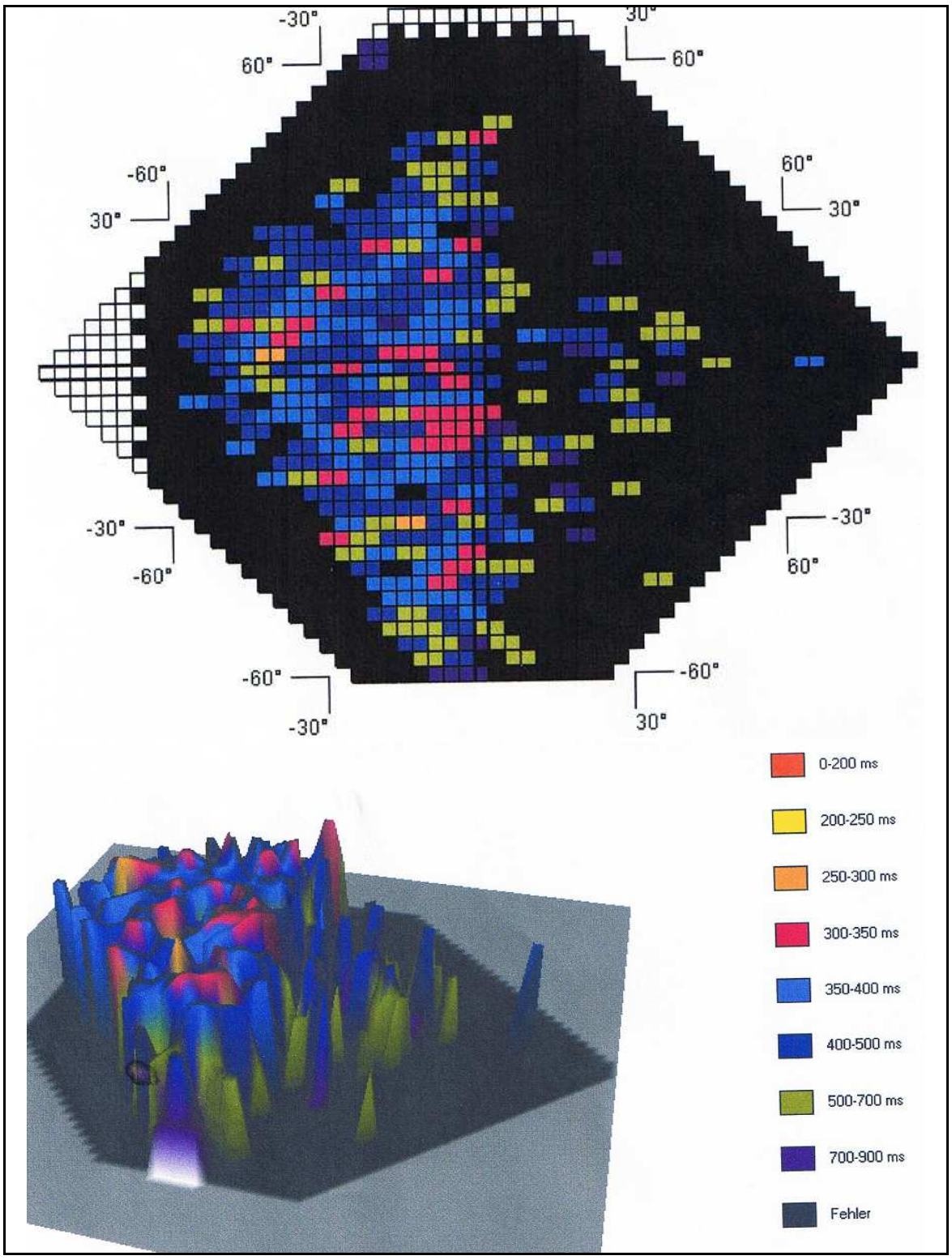

Abbildung 3.4.0. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung des Patienten C. Der Median der Reaktionszeiten beträgt 1400 ms.

3.2.8 Patient D. Kardiogen-embolischer Insult bei persistierendem Foramen ovale

Patient D., geboren 1963, bemerkte 2005 plötzlich eine Sehstörung auf der rechten Seite, die sich innerhalb weniger Stunden nur inkomplett zurückgebildet hat. Weitere Symptome bestanden nicht. Das notfallmäßig durchgeführte MRT zeigte einen frischen Posterior-teilinfarkt links. Weitere Ischämien, Blutungen oder Raumforderungen wurden ebenso wenig wie signifikante Gefäßstenosen oder Dissektionen verifiziert.

Bei Aufnahme fiel eine subtotale homonyme Hemianopsie nach rechts auf. Der übrige neurologische Status war unauffällig.

An kardialen/vaskulären Risikofaktoren sind ein arterieller Hypertonus, Nikotinabusus sowie Hypercholesterinämie zu nennen. Bezüglich der bereits bekannten Gefäßrisikofaktoren erfolgte bis zu diesem Zeitpunkt keine Therapie.

Das EKG zeigte kein Vorhofflimmern, das transösophageale Echo (TEE) zeigte jedoch ein persistierendes Foramen ovale ohne atriales Septumaneurysma (ASA). In der Duplex-sonographie der tiefen Beinvenen konnte kein Hinweis für eine Thrombose gefunden werden.

Die Ursache für den Insult wurde am ehesten kardio-embolisch gesehen. Für eine vaskulitische Genese fanden sich auch in der ergänzenden Liquorpunktion keine Hinweise.

Pat. D. wurde mit Phenprocoumon (Marcumar) antiko-aguliert. Bei fehlendem ASA wurde keine Schirmchen-einlage vorgenommen. Im Alltag gab der Patient nach Entlassung weiter Fixationsprobleme beim Sehen an.

Abbildung 3.4.1 zeigt einen Gesichtsfeldausfall zwischen 25° und 45° auf der Horizontalen mit jeweils etwa 12° Ausdehnung nach oben und unten. Dieser zunächst nur mäßig erscheinende Gesichtsfeldausfall relativiert sich, wenn man bedenkt, dass bereits kleine Ausfälle im Gesichtsfeld schwere Sehbehinderungen verursachen können (z.B. Lesebehinderung bei zentralen Ausfällen, an den Türrahmen stoßen bei peripheren Ausfällen).

Im linken Anteil des Gesichtsfeldes sind punktuelle Defekte erkennbar. Der Median der Reaktionszeiten im globalen Gesichtsfeld beträgt 436 ms.

Aufgrund der deutlichen Einschränkungen im Alltag sowie am Arbeitsplatz (Lagerist) wurde ein Gesichtsfeldtraining am LRP eingeleitet, zumal der Patient noch relativ jung ist und seine soziale Integrität von seiner Sehfähigkeit abhängt.

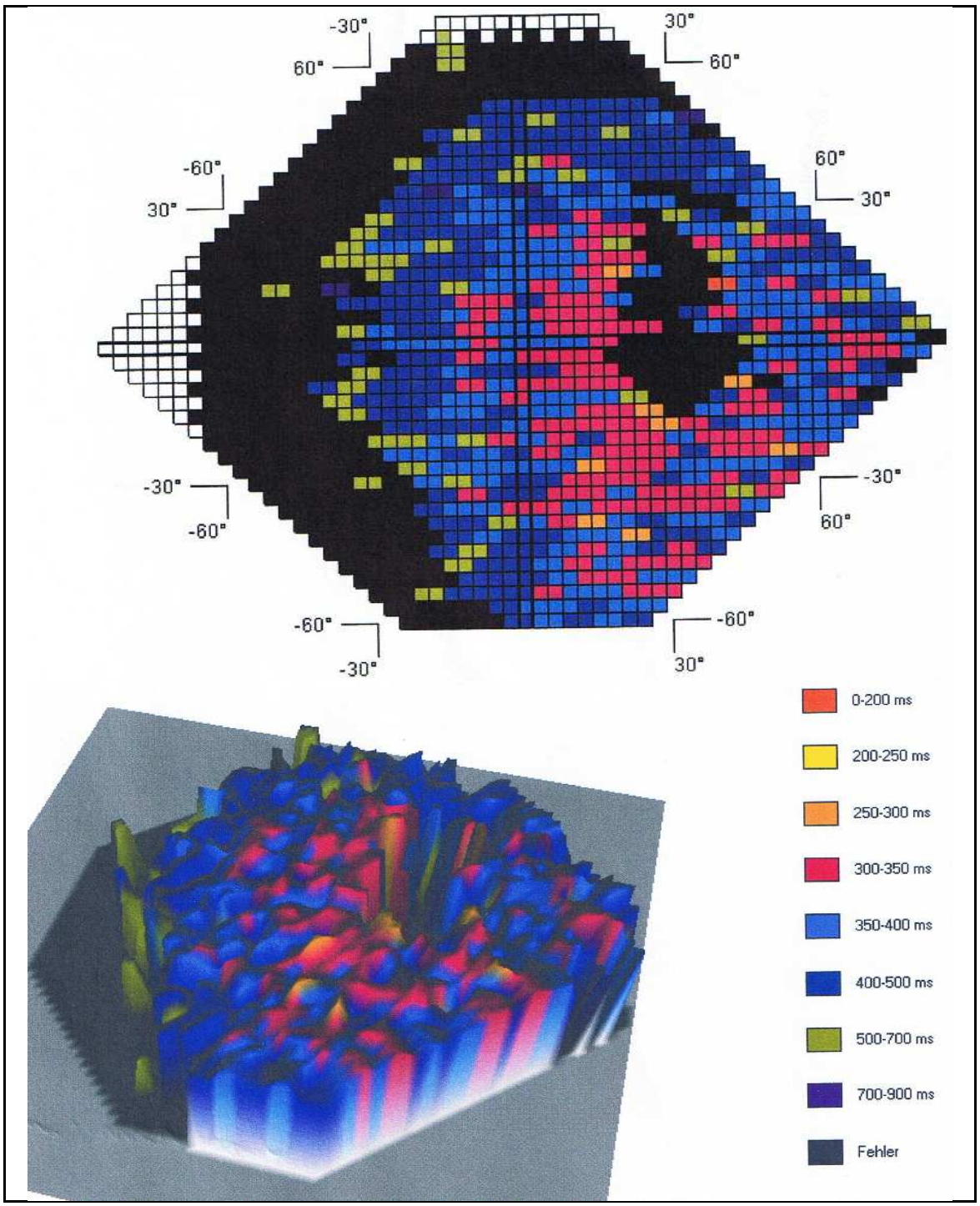

Abbildung 3.4.1. Zwei- und dreidimensionale Gesichtsfelddarstellung des Patienten D bei Vorstellung im Institut. Der Median der Reaktionszeiten beträgt 436 ms.

4. Diskussion

Die vorliegende Arbeit verfolgte das Ziel, mittels gesunder Probanden Referenzwerte für Gesichtsfelder am Lübecker Reaktionszeitperimeter (LRP) zu ermitteln und diese mit solchen von Patienten mit ZNS-Erkrankungen zu vergleichen. Als Leistungsmaß diente die Zeit zwischen der randomisierten Darbietung einer LED auf der Perimeterhalbkugel und der darauf folgenden Reaktion des Probanden mittels Knopfdruck. Die Reaktionszeit wurde für insgesamt 700, auf der gesamten Perimeterhalbkugel verteilte, LEDs bestimmt. Das perimetrisch bestimmte Gesichtsfeld wurde in zwei- und dreidimensionaler Form auf einer Koordinatenmatrix dargestellt. Numerisch erfolgte die Darstellung anhand der Kenngrößen Reaktionszeit, Früh-, Spät- und Fehlreaktionen.

Mögliche Zusammenhänge dieser Größen mit Alter, Lage im Gesichtsfeld, Geschlecht und Visus naturalis wurden untersucht.

Das LRP unterscheidet sich von anderen Perimetern vor allem durch seinen zusätzlichen therapeutischen Ansatz sowie die Reaktionszeit als Leistungsmaß anstelle der Lichtunterschiedsschwelle. Ein entscheidendes Merkmal ist die besondere Größe des abgedeckten Messbereiches bis etwa 90° temporal und 66° nasal mit insgesamt 1536 LEDs. Die allgemeine Steigerung des Aufmerksamkeitsniveaus wird mittels Akustikreiz vor Aufleuchten der LEDs erreicht.

Die Gesichtsfelder von Probanden ohne visuelle Probleme sind durch die folgenden Merkmale gekennzeichnet:

1.) Der Median der Reaktionszeiten für das Gesamtgesichtsfeld reicht bei gesunden Probanden im Alter zwischen 20 und 69 Jahren von durchschnittlich 372,5 ms bis 450 ms. Hinsichtlich dieses Medianes gibt es keinen linearen Zusammenhang mit dem Alter des Probanden. Zwar steigt der Median der Reaktionszeit zunächst mit zunehmendem Alter, nimmt ab 50 Jahren aber wieder leicht ab. Dies bedeutet, dass ein höheres Lebensalter *nicht* automatisch mit einer höheren Reaktionszeit einhergeht. Folglich kann *keine* generelle Abnahme des Gesichtsfeldes mit zunehmendem Alter festgestellt werden. Allerdings steigt die Spannweite, also die Differenz zwischen Maximum und Minimum, der Reaktionszeiten für das Gesamtgesichtsfeld mit zunehmendem Alter.

Während sie im peripheren Gesichtsfeldbereich durchschnittlich 643 ms beträgt, liegt sie im zentralen, inneren Gesichtsfeldbereich bei nur 394 ms.

In äußeren, also peripherwärts gelegenen Bereichen weist das Gesichtsfeld längere Reaktionszeiten als im zentralen auf. Während der Median der Reaktionszeit, gemittelt für beide Geschlechter und alle Altersklassen, im peripheren Gesichtsfeldbereich bei noch 492 ms liegt, beträgt sie zentral nur noch 374 ms.

Analog zeichnet sich in der graphischen Gesichtfelddarstellung der periphere Gesichtsfeldbereich durch den sog. grünen Saum aus. Dies ist eine etwa 12° bis 25° breite Zone von vergleichsweise langen Reaktionszeiten zwischen 500 und 700 ms, welche durch ihre farbliche Zuordnung grün erscheint.

Keines der Geschlechter schneidet hinsichtlich der Reaktionszeiten durchweg besser als das andere ab. In keinem Gesichtsfeldbereich besteht ein signifikanter, geschlechtsspezifischer Unterschied bezüglich der Reaktionszeit.

In der graphischen Gesichtsfelddarstellung fallen relativ klein umschriebene Gebiete auf, die sich von ihrer Umgebung durch besonders schnelle Reaktionszeiten zwischen 300 und 350 ms abheben. Sie kommen einzeln vor, bilden teilweise aber auch kleine Cluster. Auffallend ist, dass der obere Teil des Gesichtsfeldes größere Schwankungen der Reaktionszeiten aufweist als andere Regionen.

Bezüglich der Fehlreaktionen liegen ähnliche Zusammenhänge vor.

Der Median der Fehlreaktionen für das Gesamtgesichtsfeld reicht bei gesunden Probanden im Alter zwischen 20 und 69 Jahren von 61 bis 96. Es besteht eine positive Korrelation zwischen der Anzahl der Fehlreaktionen und dem zunehmenden Alter.

4 Diskussion

Bis zur Altersgruppe der 50 bis 59-Jährigen steigt der Median der Fehlreaktionen zunächst auf 96 an, um in der Gruppe der 60 bis 69-Jährigen wieder auf 74 abzunehmen. Der Zusammenhang ist also nicht linear.

Ähnlich wie bei den Reaktionszeiten steigt peripherwärts die Anzahl der Fehlreaktionen (durchschnittlich 1 im Innenbereich, 57 im Außenbereich). Auch die Spannweite der Fehlreaktionen steigt peripherwärts an (durchschnittlich 10 im Innenbereich, 126 im Außenbereich).

Für die Fehlreaktionen besteht in keinem Gesichtsfeldbereich ein geschlechtsspezifischer Unterschied.

Der Median der Früh- und Spätreaktionen ist für alle Altersklassen nahezu gleich. Auffällig ist lediglich die altersabhängige Zunahme des Maximums der Frühreaktionen.

Der Visus naturalis der Probanden korreliert nicht mit den Reaktionszeiten. Ein schlechter Visus führt folglich *nicht* unbedingt zu längeren Reaktionszeiten.

Die als Einzelfälle dargestellte Gruppe der über 70-jährigen Frauen zeigt hinsichtlich Reaktionszeit und Fehlreaktion im Gesamtgesichtsfeld deutlich höhere Werte als die darunter liegende Altersgruppe. Während der Median der Reaktionszeiten für die 60 bis 69-jährigen Frauen bei noch 446 ms liegt, beträgt er bei den über 70-jährigen Frauen bereits 704 ms.

Sowohl der 77-jährige, männliche Proband als auch die 94-jährige Probandin weisen deutlich bessere Leistungen als die darunter liegenden Altersgruppen auf.

4 Diskussion

Wenngleich es insbesondere in der Ophthalmologie eine breite und standarisierte Anwendung von Perimetern, wie dem OCTOPUS® mit bereits im Gerät gespeicherten Referenzwerten gibt, so ist die Vergleichbarkeit der Referenzwerte untereinander immer noch sehr eingeschränkt. Hinsichtlich von Referenzwerten an Perimetern gibt es in der Literatur viele Arbeiten. Eine Einordnung der eigenen Ergebnisse zu diesen ist jedoch problematisch, da die Funktionsmodi der Perimeter sehr unterschiedlich sind. Dies wiederum hängt mit der mittlerweile breiten Anwendung von Perimetern zusammen, angefangen von der Entdeckung retinaler Frühschäden beim Glaukom bis hin zur Diagnostik zerebral bedingter Sehdefekte wie am LRP. Insbesondere für die am LRP als Leistungsmaß dienende einfache Reaktionszeit (SRT) gibt es in der Literatur wenige Arbeiten (Strasburger 2003).

Insgesamt kristallisieren sich in vielen Referenzwertarbeiten jedoch folgende Punkte heraus:

1.) Mit zunehmender Peripherie werden sowohl in der kinetischen als auch statischen Perimetrie geringere Leistungswerte erzielt.

2.) Die Schwankungsbreite der Ergebnisse steigt peripherwärts an.

Schiefer et al. (2001) führten eine kinetische Perimetrie an zwölf gesunden Probanden im Alter von 21-30 Jahren durch. Als Perimeter diente das Tübinger Computer Campimeter. Bei diesem werden die optischen Reize auf einem speziellen Projektionsmonitor dargestellt. Dieser vermittelt den optischen Eindruck, dass die Lichtreize auf einer Halbkugel angeordnet seien. Die Leuchtintensität der Reize betrug in den beiden Messdurchgängen 41.6 cd/m^2 bzw. 110 cd/m^2, die Hintergrundleuchtdichte betrug 10 cd/m^2. Der perimetrisch untersuchte Bereich des Gesichtsfeldes umfasste allerdings nur einen Radius bis 30°. Sie beschrieben peripherwärts eine fast lineare Zunahme der Reaktionszeit, welche mit durchschnittlich 1,8 ms/° als geringfügig bewertet wurde. Die entsprechende peripherwärtige Zunahme der Reaktionszeit liegt am LRP bei etwa 1,3 ms/°. Allerdings beträgt die Leuchtstärke der LEDs etwa 15 cd/m^2. Des Weiteren zeigen die graphischen Gesichtsfelddarstellungen am LRP, dass die peripherwärtige Zunahme der Reaktionszeit nicht linear ist.

4 Diskussion

Allen Altersklassen und beiden Geschlechtern ist in der graphischen Gesichtsfelddarstellung der etwa 12 bis 15° breite „periphere grüne Saum" mit Reaktionszeiten zwischen 500 und 700 ms gemeinsam. Unabhängig von Alter und Geschlecht fallen jedoch insbesondere im peripheren Gesichtsfeld inhomogenere Verteilungen der Reaktionszeiten auf als im zentralen Gesichtsfeld. Statistisch kommt dies durch die hohe Spannweite der Reaktionszeiten von etwa 600 ms im peripheren Gesichtsfeld zum Ausdruck. Graphisch kommt dies durch kleine „Inseln" von niedrigen Reaktionszeiten inmitten von Arealen mit überwiegend hohen Reaktionszeiten zum Ausdruck.

Jaffe et al. (1986) sowie Drance et al. (1967) beobachteten ebenfalls die peripherwärts zunehmende Streuung der Ergebnisse in Form von größeren Standardabweichungen.

Die prospektive Studie von Jaffe et al. (1986) untersuchte insgesamt 25 Probanden. Deren Gesichtsfeld wurde zunächst am rechten, später am linken Auge vermessen. Die Messung erfolgte am Perimeter vom Typ Octopus© in Form von statischer Perimetrie. Anders als in dieser Arbeit diente als Leistungsmaß die Lichtunterschiedsschwelle. Auch wenn deren Gesichtsfeldmessung einen Radius von nur 30° umfasste, sind die Ergebnisse auf die entsprechenden Gesichtsfeldbezirke dieser Arbeit übertragbar.

Des Weiteren zeigten sie, dass die o.g. Streuungen der Ergebnisse im peripheren Gesichtsfeld:

1.) besonders in der oberen Peripherie zu finden sind

2.) mit steigendem Alter zunehmen.

Beide Beobachtungen können auch in dieser Arbeit gemacht werden. Die graphischen Darstellung der Perimetrien am LRP zeigt die besondere Streuung der Reaktionszeiten in der oberen Peripherie.

Für den in 1.) beobachteten Zusammenhang sehen Jaffe et al. (1986) als mögliche Erklärung den bei automatischer Perimetrie nicht kontrollierbaren Lidschlag an. Insgesamt scheint dieser Einflussfaktor nur durch manuelle Perimetrie beherrschbar zu sein, bei der der Perimetrist nur lidschlagfreie Messungen einfließen lässt.

Die peripherwärts zunehmende Reaktionszeit kann physiologisch mit der bekannten geringeren Dichte an Rezeptorzellen in der Netzhautperipherie sowie deren schwächeren Repräsentation im Gehirn erklärt werden [Klinke 2001].

Auch könnte die aus der Anthropologie bekannte unterschiedliche Form des Schädelknochens mit unterschiedlicher Augentiefe eine Erklärung für die Streuung der Ergebnisse in der superioren Peripherie am LRP sein.

Der unter 2.) beschriebene Zusammenhang wird von Hultsch et al. (2001) als wesentliches kognitives Leistungsmaß sowie als Funktion des Alterns gesehen. Sie bezeichnen die Streuung von gemessenen Reaktionszeiten als Dispersion.

In ihrer Arbeit mit 862 Probanden im Alter von 17 bis 94 Jahren bestimmten sie unter anderem die einfache Reaktionszeit (SRT) auf einen mittels PC-Monitor dargebotenen Reiz. Interessanterweise korrelierten andere kognitive Funktionen wie Gedächtnisleistung oder Wahrnehmungsgeschwindigkeit negativ mit der gemessenen Dispersion der Reaktionszeit.

In dieser Arbeit steigt die Reaktionszeit - wie bereits erwähnt - mit zunehmendem Alter insgesamt nur diskret und nicht signifikant an. Im Gegensatz zur Arbeit von Jaffe et al.(1986) weisen ältere Probanden am LRP kaum schlechtere Leistungen auf als jüngere.

Diese Aussage mag zunächst verwundern, da üblicherweise mit zunehmendem Alter eine Verschlechterung der kognitiven Fähigkeiten angenommen wird.

Als Erklärung könnten folgende zwei Punkte dienen:

1.) In der Literatur gibt es zahlreiche Arbeiten, welche einen signifikanten Anstieg der Reaktionszeit mit zunehmendem Alter beschreiben [Welford 1977, Jevas and Yan 2001, Luchies *et al.* 2002]. Straßburger (2003) hingegen stellte mit zunehmendem Alter *keine* Verschlechterung der Reaktionszeit fest.

Allerdings ist zu differenzieren zwischen einfachen und komplexen Reaktionsaufgaben. Luchies et al. (2002) betonen, dass eine altersabhängige Zunahme der Reaktionszeit vor allem für komplexere Reaktionsaufgaben gilt und weniger für die einfache Reaktionsaufgabe wie am LRP.

2.) Ein weiterer Grund für die fehlende Alterskorrelation der Reaktionszeiten am LRP könnte sein, dass die LEDs am LRP im überschwelligen Leuchtdichtebereich leuchten. Das Einsatzgebiet des LRP an zerebral geschädigten Personen gebietet den überschwelligen Leuchtmodus, da die Bestimmung der Lichtunterschiedsschwelle im Gegensatz zur Reaktionszeitmessung auf weit überschwellige Lichtreize wegen der hohen Variabilität der Schwelle ein unzuverlässiges Maß für die Diagnostik von zerebral geschädigten Personen darstellt (Schmielau 1989).

Es ist allgemein bekannt, dass eine höhere Leuchtdichte mit besseren Ergebnissen hinsichtlich der Reaktionszeit einhergeht. Faktoren wie Trübungen der brechenden Medien oder der mit dem Alter zunehmende Verlust neuroretinaler Strukturen [Weale 1975] könnten somit weitestgehend ausgeschaltet werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Reaktionszeiten unabhängig vom Visus naturalis waren. Andernfalls hätte man eine Zunahme der Reaktionszeit bei abnehmendem Visus erhalten (negative Korrelation).

Das LRP scheint somit eine gewisse Robustheit gegen einige die Messergebnisse beeinflussende Faktoren wie Alter und Visus zu besitzen. Diese Eigenschaft ist als durchaus positiv zu bewerten, da weniger aufwändige Justierungen vor Meßbeginn nötig sind und die Anzahl der die Messung beeinflussenden Faktoren reduziert wird. Eine Interpretation der Ergebnisse ist somit schnell und unmittelbar möglich. Dies gilt zumindest für die in dieser Arbeit verwendete LED-Leuchtdichte. Bei schwächerer Leuchtdichte wäre durchaus eine Altersabhängigkeit der Messergebnisse denkbar. Diese könnte beispielsweise aus der altersabhängigen Verschlechterung der optischen Medien, aber auch der nachlassenden Aufmerksamkeitsreaktionen resultieren. Auch die motorische Komponente der Reaktionszeit wird sicher mit dem Alter einen Einfluss haben.

Zu klären bleibt, weshalb die Anzahl der Fehlreaktionen eine, wenn auch nicht streng lineare, Korrelation mit zunehmenden Alter zeigt, während die Reaktionszeiten mit dem Alter nicht signifikant ansteigen. Da jede Fehlreaktion mit 1400 ms in die Berechnung der durchschnittlichen Reaktionszeit mit eingeht, müssen die Reaktionszeiten über weite andere Gesichtsfeldbereiche niedriger sein, um trotz vermehrter Fehlreaktionen keinen Anstieg der durchschnittlichen Gesamtreaktionszeit zu bewirken.

Die graphischen Gesichtsfelddarstellungen bestätigen dies insofern, als sich die zentralen Gesichtsfeldanteile auch mit unterschiedlichem Alter hinsichtlich der Reaktionszeit sehr ähneln. Entsprechend zeigt der Bezirk bis 15° Exzentrizität vom Gesichtsfeldzentrum für alle Altersgruppen und beide Geschlechter konstante Reaktionszeiten zwischen 300 und 400 ms.

Einen entscheidenden Aspekt bei der Erstellung von Referenzwertarbeiten stellen die Selektionskriterien von gesunden Probanden dar. Die Grenze zwischen physiologischem Alterungsprozess und Krankheit wird innerhalb der verschiedenen Referenzwertarbeiten sehr unterschiedlich gezogen. In dieser Arbeit wird der Standpunkt vertreten, dass gewisse physiologische Alterungsprozesse, wie die zunehmende Trübung der optischen Medien, nicht zum Ausschluss des Probanden führen sollten, da bei zu enger Definition von Selektionskriterien eine Verzerrung der Ergebnisse eintritt. Aus diesem Grund war ein Visus naturalis von 0,5 auf 0,7 m ausreichend für die Aufnahme in die Referenzgruppe.

Sowohl Jaffe et al. (1986) als auch Schiefer et al. (2001) erhoben mit zunehmendem Alter signifikant schlechtere Ergebnisse mit zunehmendem Alter. Bei beiden stellten zusätzlich zu einem korrigierten Visus normal brechende Augen Einschlusskriterien für die Referenzgruppe dar. Somit wurden - wie wahrscheinlich auch am LRP - einerseits Trübungen der brechenden Medien als Einflussfaktor ausgeschaltet, jedoch auch eine starke Selektion der Probanden vollzogen.

Des Weiteren wurden Korrekturen des Visus mit Gläsern vollzogen. Die durch den Brillenglasrand bedingten und das Ergebnis beeinflussenden sog. Glasrandartefakte [Lachenmayr et al. 1992] hingegen wurden in den Arbeiten nicht berücksichtigt.

Hinsichtlich der Schlussfolgerungen für die Referenzgruppe ist jedoch zu bedenken:

Die Fallzahl der Referenzgruppe mit 70 Probanden ist begrenzt. Statistische Schwankungen, die bei höheren Fallzahlen weniger wahrscheinlich wären, könnten in dieser Arbeit vorliegen.

Die Auswahl der Referenzgruppe ist, wie eingangs bereits erwähnt, nicht streng epidemiologisch. Zwar ist sie hinsichtlich Beruf und sozialer Schicht weit gefächert, trotzdem liegt durch Zugehörigkeit zu einer Universität oder das Lesen und Reagieren auf öffentliche Aushänge etc. eine Selektion vor. Auch hinsichtlich der Patientengruppe ist zu bedenken, dass das Institut im Obergeschoss nur mit Treppen erreicht werden kann. Die Teilnahme an den Messungen am LRP setzte also eine gewisse körperliche Kraft voraus, welches ebenfalls einen Selektionsfaktor darstellen könnte. Schlussfolgerungen aus dieser Arbeit müssen vor diesem Hintergrund kritisch gewürdigt werden.

Ein weiteres, jedoch nicht nur das LRP betreffendes Problem, stellt die aus der Psychologie bekannte tagesabhängige Schwankung von psychometrischen Leistungen wie Wahrnehmung und Reaktion dar. Zwar wurde in dieser Arbeit versucht, zu möglichst ähnlichen Tageszeiten Messungen vorzunehmen. Weitere Faktoren, wie Schlafdauer oder mögliche Wechselschichten, könnten jedoch die Ergebnisse verzerrt haben. Die Erstellung von richtigen Normwerten in verschiedenen Altersklassen stellt also höchste Ansprüche an die Auswahl der Referenzgruppe, welche in dieser Arbeit nur mit Einschränkungen geleistet werden konnte.

Die eingangs erwähnte Arbeit von Zihl et al. (1978) „Sensorische Rehabilitation bei Patienten mit postchiasmatischen Sehstörungen” beschrieb für Gesichtsfelddefekte mit flachem Gradienten zwischen intakt und defekt ein besonders hohes Trainingspotenzial. Zihl et al. (1978) führten, im Gegensatz zum LRP, Messungen der Lichtunterschiedsschwelle durch. Dennoch konnten sie eine signifikante und zeitlich stabile Verkleinerung des Gesichtsfelddefektes erreichen. Diese Trainingseffekte wurden sogar im nicht trainierten Auge beobachtet, was mit der zentralen Verschaltung sowie Durchmischung der Afferenzen beider Augen im Kortex erklärt wurde.

4 Diskussion

Die Gesichtsfelddiagnostik der in dieser Arbeit vermessenen Patienten (z.B. Patientin A) dokumentiert Inseln von höheren Reaktionszeiten (700 ms) inmitten von Gesichtsfelddefekten.

Kasten (1999) etwa teilte derartige Inseln in seiner Habilitationsschrift ein in Makro- und Mikroinseln. Diese Inseln scheinen ein enormes Potenzial für eine mögliche Restitution des Gesichtsfeldes zu besitzen [Fendrich et al. 1992, 1993]. Der Grund für deren Existenz sowie deren Restitutionspotenzial wird kontrovers diskutiert. Manche Autoren bringen die Inseln mit dem sog. Blindsight-Phänomen in Verbindung. Hier werden von Patienten zumindest grobe visuelle Aufgaben wie Formerkennung oder Lichtreizerkennung richtig gelöst, ohne dass der Patient eine bewusste Wahrnehmung darüber hat. Eine Erklärung für dieses Phänomen ist, dass die Afferenzen vom Auge einen Weg über das entwicklungsgeschichtlich ältere tecto-pulvinäre Sehsystem nehmen.

Jedoch ist eine bewusste Wahrnehmung von Reizen Voraussetzung für die motorische Reaktion am LRP. Als mögliche Erklärung für Inseln scheinen hier eher Redundanzen in Form von sich überlappenden rezeptiven Feldern im Gehirn zu passen, die Funktionen von ausgefallenen Feldern übernehmen.

Dobkin (1993) teilt in seiner Übersicht die Neuroplastizität des ZNS in verschiedene Kategorien ein. Neben den bereits erwähnten Redundanzen und Divergenzen im Gehirn, welche beispielsweise ja auch den Blinden Fleck wegrechnen, gibt es auch molekulare Kategorien. So sollen zahlreiche Mediatoren die neuronale Regeneration sowohl lokal hemmen als auch fördern.

Die zunehmenden Kenntnisse der Neurohistologie lassen Begriffe wie Plastizität des Gehirns oder Redundanzen im Gehirn immer weniger als eine Blackbox erscheinen. Die Präsentation einer Arbeitsgruppe [Carmichael et al. 2006] mit Versuchen an Mäusen kam zum Ergebnis:

„Stroke induces the formation of a novel neurovascular niche in peri-infarct cortex. This niche links angiogenesis and neurogenesis through specific growth factor systems to prompte neuroblast migration and survival after stroke.”

Es wird sich durch weitere Studien zeigen müssen, ob der Vorgang der neuronalen Regeneration spontan einsetzt oder durch Maßnahmen vorangetrieben werden kann. Weiterhin ist dann die Frage, welche Mechanismen dies sein können. In der Literatur wird von medikamentösen Ansätzen in Form von Mediatorenapplikation als auch von gezieltem neuropsychologischen Training gesprochen [Nacimiento 1999] .

In der Arbeit von Zihl et al. (1978) wird die Ermüdung während der Therapiesitzungen als negativer Faktor für das Gesichtsfeld hervorgehoben. Es wird betont: „Die Instabilität der Gesichtsfeldgrenzen bei zentralen Störungen zeigt sich auch bei wiederholter Reizung an der Gesichtsfeldgrenze. Vermutlich bedingt durch Ermüdung kommt es zu einer Abnahme der Kontrastsensitivität und zu einer Schrumpfung des intakten Gesichtsfeldes. “

Dieser Problematik wurde insofern am LRP Rechnung getragen, als ein akustischer Warnreiz vor Aufleuchten einer LED die Aufmerksamkeit steigert. Regelmäßige Pausen wirken ebenfalls einer Ermüdung des Probanden entgegen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass ohne diese Art der Unterstützung eine Diagnostik- oder Therapiesitzung sehr ermüdend sein kann, da die komplette Diagnostik für ein Auge am LRP um die 30 Minuten dauert.

Wie bereits mehrfach betont, deckt das LRP nahezu das gesamte Gesichtsfeld mit seinen Trainings- und Diagnostikoptionen ab. Die Rasterung ist im Vergleich zu anderen Perimetern engmaschig. Neben den bereits erwähnten Inseln können auch in der Peripherie Defekte beurteilt werden. Konventionelle Perimeter, die nach dem statischen Messverfahren arbeiten, zeichnen sich nur im zentralen Gesichtsfeldbereich durch ein relativ dichtes Prüfraster aus. In der Peripherie ist das Raster sehr grob, so dass die Perimetrie in diesen Bereichen sehr ungenau ausgeführt wird und beispielsweise Gesichtsfeldvergrößerungen schlecht zu beurteilen sind. Die Anatomie der Sehbahn bringt es aber mit sich, dass die sog. temporale Sichel des Gesichtsfeldes nur in einer Hemisphäre repräsentiert ist. Je nach zerebraler Läsion kann es temporal zu recht skurrilen Ausfällen kommen. Derartige Ausfälle werden von den meisten Perimetern nicht diagnostiziert. Hinsichtlich der Teilnahme am Straßenverkehr oder dem Ausweichen von Gegenständen und Personen hat aber auch die Peripherie des Gesichtsfeldes eine Bedeutung.

Im Gegensatz zum Patienten D ist beim Patienten B der Gesichtsfelddefekt vor allem peripher gelegen.

Eine Beschränkung der Diagnostik auf beispielsweise 30° hätte den Defekt verkannt. Der Ergebnisteil stellte den zeitlichen Verlauf des Gesichtsfeldes nach etwa drei Monaten mit intensivem Gesichtsfeldtraining am LRP dar. Der Verlauf ist kompliziert, da die Trainingserfolge in der Peripherie sehr feingerastert sind und sich offenbar auch auf zentralere Bereiche auswirken mit entsprechend besseren Reaktionszeiten im Verlauf. Der Patient B macht deutlich, dass sich Trainingsverläufe bei zerebral geschädigten Patienten nicht einfach durch Isopteren (also höhenlinienartige Verbindungen gleicher Reaktionszeiten) wie in der kinetischen Perimetrie mit ihren relativ groben Messalgorithmen beschreiben lassen. Eine ähnliche Konstellation ist beim Patienten C zu finden, welcher eine erhebliche Divergenz der Ergebnisse zwischen Zentrum und Peripherie vorweist.

Die durchzuführenden Trainingseinheiten bei zerebral geschädigten Patienten erfordern einen hohen Zeitaufwand, der durch die nicht flächendeckende Infrastruktur für visuelle Neurorehabilitation verschärft wird. Dieser Umstand stellt einen begrenzenden Faktor für den Therapieerfolg dar. Eine interessante Ergänzung stellt hier das internetbasierte Training dar [Schmielau 2001]. Bei diesem trainiert der Patient vom häuslichen Internetanschluss aus über seinen PC-Bildschirm. Auf diesem erscheinen ebenfalls zu fixierende Referenzpunkte sowie Lichtreize. Der Bildschirm deckt nicht das gesamte Gesichtsfeld ab, jedoch können durch Verschiebung des Fixationspunktes auch periphere Gesichtsfeldbereiche trainiert werden. Eine entsprechend exakte Erstdiagnostik sowie spezielle Trainingsalgorithmen am LRP können durch den PC aber nicht ersetzt werden.

4 Diskussion

Aus der vorliegenden Arbeit können folgende Schlüsse gezogen werden:

1.) Das Gesichtsfeld kann sehr vielfältig dargestellt werden. Das Ergebnis ist sehr stark von der angewandten Methode abhängig, was beim Vergleich von Ergebnissen, z.B. in Arztbriefen, berücksichtigt werden sollte. Das Gesichtsfeld ist keine statische Größe. Die es beeinflussenden Faktoren sind zahlreich, wobei das Alter nicht die immer entscheidende Größe zu sein scheint.

2.) Die Gesichtsfeldstruktur ist bei genauer Vermessung sehr inhomogen und wird durch viele Methoden zu grob dargestellt. Die Wichtigkeit einer genauen Darstellung zeigt sich bei der Diagnostik von zerebral geschädigten Patienten sowie bei der Darstellung der Verlaufkurven perimetrischer Messungen, z.B. in der Rehabilitation.

5 Zusammenfassung

Das Lübecker Reaktionszeitperimeter (LRP) ist ein am Institut für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation entwickeltes Perimeter. Das LRP wird zu Diagnostik- und vor allem Therapiezwecken an Patienten mit zerebral bedingten Gesichtsfelddefekten benutzt. Es arbeitet nach dem Prinzip der statischen Perimetrie, als Leistungsmaß dient jedoch die einfache Reaktionszeit anstelle der Lichtunterschiedsschwelle. Der Patient oder Proband reagiert schnellstmöglich per Knopfdruck auf das Aufleuchten einer von insgesamt 1536 Leuchtdioden (LED). Die Leuchtdichte der LEDs liegt im deutlich überschwelligen Bereich. Mit dem LRP können Gesichtsfelder bis zu Exzentrizitäten von fast 90° vermessen werden. Der Messbereich des LRP umfasst - bezogen auf das rechte Auge - temporale Exzentrizitäten bis ca. 90°, nasal bis 66°. nach superior und inferior jeweils mindestens 60°. Vor dem Aufleuchten der LEDs ertönt randomisiert ein Akustikreiz zur Aufmerksamkeitssteigerung. Ein PC übernimmt die Darstellung der Reaktionszeitverteilung.

Ziel der Arbeit war die Erstellung von Referenzwerten der Reaktionszeitverteilung im Gesichtsfeld von Probanden verschiedener Altersklassen zwischen 20 und 94 Jahren ohne wesentliche Augenerkrankungen oder zerebrale Vorschäden. Vier Gesichtsfeldvermessungen von Patienten mit zerebralen Schäden sollen pathologische Gesichtsfelder illustrieren. Zur Ergebnisauswertung wurde die Verteilung der korrekten Reaktionszeiten in Früh-, Spät- und Fehlreaktionen herangezogen.

Im Einzelnen wurde untersucht, wie sich das Gesamtgesichtsfeld und dessen Teilbereiche in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht der Probanden ändern. Die Untersuchung fand am rechten Auge statt.

Die Diagnose des Gesichtsfeldes jeweils eines Auges dauert ca. 30 min. und umfasst 700 Messpunkte, die über den gesamten Messbereich homogen verteilt sind (Abstand ca. 3°).

Der Median aller Reaktionszeiten einer vollständigen Gesichtsfeldmessung für alle Probanden variiert zwischen 372 und 505 ms. Dabei wurde eine tendenzielle - aber nicht signifikante - Zunahme der Reaktionszeit mit dem Alter festgestellt. Nur für das innere Gesichtsfeld (+/- 21°) der weiblichen Probanden ergab sich eine positive Korrelation.

5 Zusammenfassung

Die Anzahl der nicht gesehenen bzw. beantworteten Stimuli („Fehlreaktionen”) zeigte - bezogen auf den Globalbereich und beide Geschlechter - eine positive, wenn auch nicht lineare Korrelation mit dem Alter. Einzelne Untergruppen hingegen wiesen bezüglich des Alters eine positive, signifikante Korrelation zur Anzahl der Fehlreaktionen auf; z.B. die Gruppe der Frauen betrachtet für den Innenbereich mit r = 0,97 und p = 0,005*.

Der Minimalwert der Fehlreaktion pro Altersgruppe lag bei 46, der Maximalwert bei 96 von 700 Reizen.

Unabhängig vom Alter wurde beobachtet, dass die Reaktionszeiten und Anzahl der Fehlreaktionen auf deutlich überschwellige Lichtreize (LED-Durchmesser 30’, Leuchtdauer 100 ms) mit der Exzentrizität im Gesichtsfeld zunehmen.

Besonders in der extremen Gesichtsfeldperipherie kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Reaktionszeiten. Die obere Gesichtsfeldhälfte zeigt eine stärkere Variabilität der Reaktionszeiten und einen deutlich höheren Anteil sehr langsamer Reaktionen als die untere Gesichtsfeldhälfte.

Ein Zusammenhang zwischen der Länge der Reaktionszeit und der Sehschärfe (Visus naturalis) wurde bei den Probanden nicht beobachtet.

Die Messungen des Gesichtsfeldes mit dem LRP zeigte in der Gruppe der gesunden Probanden eine gute Robustheit gegenüber den Variablen Alter, Geschlecht und Ausgangsvisus.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass viele Aspekte des Gesichtsfeldes erst in der feingerasterten Vermessung zur Darstellung kommen. Dies gilt insbesondere für die Diagnostik von Gesichtsfelddefekten bei Patienten. Die Gesichtsfelddefekte erwiesen sich unter der feinen Messrasterung des LRP nicht als „homogene schwarze Felder ohne visuelle Wahrnehmung“. Statt dessen konnten innerhalb der Gesichtsfelddefekte kleine Areale mit intakter visueller Wahrnehmung, sog. „Inseln“, ausgemacht werden.

5 Zusammenfassung

Das LRP ist aufgrund seiner Konstruktionsmerkmale und seiner Messalgorithmen - z.B. durch Aufmerksamkeitssteigerung und Pausenfunktionen - gut für die detaillierte Gesichtsfelddiagnostik geeignet. Die Verwendung der einfachen Reaktionszeit („simple reaction time”) als Messvariable anstelle der ermüdungssensitiveren Lichtunterschiedsschwelle hat sich sowohl in der Diagnostik als auch in der Rehabilitation bewährt.

6 Literaturverzeichnis und Abbildungsnachweis

Bachmayr B: Sehschärfenperimetrie nach Frisen: Normales Gesichtsfeld und Erfassung von Gesichtsfelddefekten bei Netzhaut-, Sehnerv- und Sehbahnerkrankungen. Med. Diss. München, 1993

Blackburn HL, Benton AL: Simple and choice reaction time in cerebral disease. Confinia Neurologica 15, 327–338 (1955)

Brenton R, Phelps C, Rojas P, Woolson R: Interocular differences of the visual field in normal subjects. Invest Ophthalmol Vis Sci 27, 799-805 (1986)

Carmichael J, Obab P, Tsai H Wu: Geffen School of Medicine at UCLA, USA.M 1-2: Neuronal rehabilitation after stroke: Studies on a novel brain environment of repair. Bericht 4. Weltkongreß für Neurorehabilitation M1-2, Hong Kong(2006)

Collins LF, Long CJ: Visual reaction time and its relationship to neuropsychological test performance. Archives of Clinical Neuropsychology 11, 613-623 (1996)

Cramon D: Sehen. In: Cramon D, Zihl J (Hrsg.): Neuropsychologische Rehabilitation. S. 105-129, Springer, München, 1988

Dobkin BH: Neuroplasticity-Key to recovery after central nervous system injury. West J Med 59, 56-60 (1993)

Drance SM, Berry V, Hughes A: Studies on the effects of age on the central and peripheralisopters of the visual field in normal subjects. Am J Ophthalmol 63, 1667-1672 (1967)

Edwards D, Hahn G, Baum C, Perlmutter M, Sheedy C, Dromerick A: Screening patients with stroke for rehabilitation needs: Validation of the post-stroke-rehabilitation guidelines. Neurorehabil Neural Repair 20, 42-48(2006)

Fendrich G, Wessinger CM, Gazzaniga MS: Residual vision in a scotoma: implications for blindsight. Science 5087, 1489-1491 (1992)

Gartner S, Henkind P: Aging and Degeneration of the human macula: Outer nuclear layer and photoreceptors. Br J Ophthalmol 65, 23-28 (1981)

Gherghel D, Orgül S, Prünte C, Gugleta K, Lübeck P, Gekkieva M, Flammer J: Interocular differences in optic disc topographic parameters in normal subjects.Current eye research 20, 276-82(2000)

Gloor B: Automatische Perimetrie. Bücherei des Augenarztes. Band 110, Enke, Stuttgart, 1987

Goldmann H: Grundlagen exakter Perimetrie.Ophthalmologica 109, 57-70(1945)

Grubwinkler S: Alterskorrigierte Normalwerte am automatischen Perimeter Octopus 1-2-3. Med. Diss. München, 1996

Hacke W: Akuttherapie ischämischer Schlaganfall. In: Diener H-C, Putzki N: Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. S. 654, Thieme, Stuttgart, 2005

Heijl A, Lindgren E, Olsson J: The effect of perimetric experience in normal subjects. Arch Ophthalmol 107, 81–86 (1989)

Heinze H, Mangun G, Burchert W et al: Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. Nature 372, 543-546 (1994)

Hudson C, JM Wild, EC O'Neill: Fatigue effects during a single session of automated static threshold perimetry. Invest Ophthalmol Vis Sci 35, 268-280 (1994)

Hultsch D, MacDonald S, Dixon R: Variability in reaction time performance of younger and older adults. J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci. 57, 101-115 (2002)

Jaffe G, Alvarado J, Juster R: Age-related changes of the normal visual field. Arch Ophthalmol 104, 1021-1025 (1986)

Jevas S, Yan YH: The effect of aging on cognitive function: a preliminary quantitative review. Research Quarterly for Exercise and Sport 72, A-49 (2001)

Kasten E: Restitution cerebraler Sehstörungen - Diagnostik, residuale Sehleistungen und Therapie-Möglichkeiten. Habil. Schr., Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, 1999

Kendrick M Mc: Recent developments in perimetry: test stimuli and procedures. Clin Exp Optom 88, 73-80(2005)

Kerkhoff G: Neurovisual rehabilitation: recent developments and future directions. J.Neurol. Neurosurg. Psychiatry 68, 691-706 (2000)

Kerrigan-Baumrind LA, Quigley HA, Pease ME, Kerrigan DF, Mitchell DS: Number of ganglion cells in glaucomatous eyes compared with threshold visual field tests in the same persons. Invest Ophthalmol Vis Sci 41, 741-74 (2000)

Klinke R, Pape HC, Silbernagl S: Lehrbuch der Physiologie. S.722-724, Thieme, Stuttgart, 2001

Kolominsky-Rabus PL, Heuschmann PU: Incidence, Etiology and Long-Term Prognosis of Stroke. Fortschritte der Neurologie und Psychiatrie 70, 657-662 (2000)

Kosinski R: A Literature Review on Reaction Time. Biology instruction, Clemson University 2008

Kutzko K, Brito C, Wall M: Effect of instructions on conventional automated perimetry. Invest Opthalmol. Vis Sci 41, 2006-2013 (2000)

Lachenmayr B: Grundlagen der Perimetrie. In: Lachenmayr B, Vivell P.M.O: Perimetrie. S. 2-12, Thieme, Stuttgart, 1992

Lauber H: Das Gesichtsfeld. Untersuchungsgrundlagen, Physiologie und Pathologie. In: Engelking E u. Pillat A(Hrsg.), Bergmann JF: Augenheilkunde der Gegenwart, Springer, München, 1944

Luchies C, Schiffman L, Richards G, Thompson MR, Bazuin D, DeYoung AJ: Effects of age, step direction, and reaction condition on the ability to step quickly. *The* Journals of Gerontology, Series A 57(4), M246 (2002)

Masuhr K, Neumann M: Neurologie. MLP, Duale Reihe. Hippokrates Verlag Stuttgart, 1998

Morgan JE, Uchida H, Caprioli J: Retinal ganglion cell death in glaucoma. Br J Ophthalmol 84, 308-310(2000)

Murray CJL, Lopez AD: Alternative Projections of mortality and disability by cause 1990-2020: Global Burden of Disease Study. Lancet 349(9064), 1498-504 (1997)

Nacimiento W: Nervenregeneration nach Rückenmarkstrauma: Fortschritte in der Neurobiologie, Perspektiven für die Klinik. Deutsches Ärzteblatt 96, 279 / B-1091 / C-1019 (1999)

Poffenberger, AT: Reaction time to retinal stimulation with special reference to the time lost in conduction through nerve centers. Archives of Psychology, 23, 1-73(1912)

Poppelreuter W: Die Störungen der niederen und höheren Sehleistungen durch Verletzungen des Okzipitalhirns. In: Die psychischen Schädigungen durch Kopfschuß im Kriege 1914/1916 mit besonderer Berücksichtigung der pathophysiologischen, pädagogischen und sozialen Beziehungen, Voss, Leipzig, 1917

Schaumberger M: Eine neue Strategie für die automatisierte statische Perimetrie. Biol. Diss. München, 1999

Schiefer U, Skalej M, Kolb R, Grodd W, Fahle M, Herzog H: Cerebral activity during visual stimulation – a positron emission tomography and functional magnetic resonance imaging study. German J Ophthalmol 5, 109-117 (1996)

Schiefer U, Strasberger H, Becker S, Vonthein R, Schiller J, Dietrich TJ, Hart W: Reaction time in automated kinetic perimetry: Effects of stimulus luminance, eccentricity and movement direction. Vision Res 41, 2157-2164 (2001)

Schlote S, Grüb M, Mielke J: Taschenatlas Augenheilkunde. Thieme, Stuttgart, 2004

Schmielau F: Restitution visueller Funktionen bei hirnverletzten Patienten: Effizienz lokalisationsspezifischer sensomotorischer Rehabilitationsmaßnahmen. In: Jacobi P. (Hrsg.): Psychologie in der Neurologie. S. 18-29, Springer, Berlin, 1989

Schmielau F: Recovery of visual functions after training in brain lesioned patients. Int. J. Psychol 27, 068.5 (1992)

Schmielau, F: Trainingsgerät zur Behandlung von an Wahrnehmungsstörungen leidenden Patienten. Gebrauchsmuster Deutschland G9305 147.6. (1993)

Schmielau F: The Lübeck reaction time perimeter - A new device for diagnosis and training of visual defects. In: Technikzentrum Lübeck (Hrsg.) EU-Symposium Medical Technology Network in the Baltic Region. S. 181-190, Mildner Verlag, Lübeck, 1994

Schmielau F: Training device for the therapy of patients having perception defects. United States Patent 5,534,953.(1997), Europäisches Patent EP 0 689 822 B1.

Schmielau F: Treatment-induced recovery of visual fields in stroke patients. Soc. for Neuroscience Abstracts 23, 649.11 (1997)

Schmielau F: Betriebsanleitung LRP (2001)

Schmielau F, Potthoff RD: Erholung von Sehfunktionen als Folge spezifischer Rehabilitationsverfahren bei hirngeschädigten Patienten. Bericht 37. Kongreß der DGfPs. S. 123-124. Kiel (1990)

Schmielau F, Wong EK, Ling CA: Treatment - induced recovery of visual function in hemianopia. Invest Ophthal. Vis. Sci. 39, 2571 - B 428(1998)

Schmielau F, Wong EK, Holbe F: Neurovisual rehabilitation via the internet. In: Telemedicine: medicine and communication, Buzug TM, Handels H, Holz D (Hrsg.) Kluver Academic/Plenum Publishers,77-92, New York, 2001

Schmielau F, Wong EK: Recovery of visual fields in brain-lesioned patients by reaction perimetry treatment. JNER, 4:31(2007)

Schmielau T: LRP-Anwendungssoftware (1996)

Searle A, Wild J, Shaw D, O'Neil E: Time-related variation in normal automated static perimetry. Ophthalmology 98, 701-707 (1991)

Strasburger H: Indirektes Sehen. Formerkennung im zentralen und peripheren Gesichtsfeld. S. 32-40, Hogrefe, Göttingen,2003

Teichner WH, Krebs MJ: Laws of the simple reaction time. Psychological Review 79, 344-358 (1972)

Trepel M: Neuroanatomie. S. 215-217, Urban und Fischer, München, 1999

Verkehrskommission der DOG: Empfehlung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands zur Fahreignungsbegutachtung für den Straβenverkehr. Augenärztliche Akademie, Düsseldorf, 2008

Wagner J: Experimentelle Beiträge zur Psychologie des Lesens. Zeitschrift für Psychologie. S 80 (1918)

Weale RA: Senile changes in visual acuity. Transactions of the Opthalmological Society of the United Kingdom 95, 36-38 (1975)

Weiß C, Bauer A: Promotion, die medizinische Doktorarbeit, von der Themensuche bis zur Dissertation. Thieme Verlag, Stuttgart, 2001

Welford AT: Choice reaction time: Basic concepts. In: Welford AT (Hrsg.): Reaction times. Academic Press,73-128 (1980)

Wiegmann U: Restitutionstherapie von homonymen Gesichtsfelddefekten nach einer Hirnschädigung: 3 Einzelfallstudien. Diplomarbeit, Univ. Hamburg (1992)

Zihl J: Untersuchung von Sehfunktionen bei Patienten mit einer Schädigung des zentralen visuellen Systems unter besonderer Berücksichtigung der Restitution dieser Funktionen. Habil. Schr., Medizinische Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München, 1980

Zihl J: Homonyme Hemianopsie und ihre Rehabilitation. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde 192, 555-558 1988a

Zihl J: Die Behandlung von Patienten mit homonymen Gesichtsfeldstörungen. Praxis Ergotherapie 1, 210-215 1988b

6 Literaturverzeichnis und Abbildungsnachweis

Zihl J, Cramon D von, Pöppel E: Sensorische Rehabilitation bei Patienten mit postchiasmatischen Sehstörungen. In: Der Nervenarzt 49, 101-111, Springer, Berlin (1978)

Zihl J, Cramon D von. Zerebrale Sehstörungen. Kohlhammer, Stuttgart, 1986

www.schlaganfall-hilfe.de (letzter Zugriff 14.11.2007)

6 Literaturverzeichnis und Abbildungsnachweis

Für die Abbildungen 1.1, 1.2 und 1.3 wird nachfolgend die Abbildungsquelle genannt. Die genannten Abbildungen entstammen der Wikipedia-Enzyklopädie. Spezielle Lizenzen gestatten die Wiedergabe der Abbildungen. Zugrunde liegt jeweils die sog. Creative-Commons-Lizenz (CC). Bedingung ist der ausdrückliche Verweis auf deren Lizenzbedingungen. An dieser Stelle wird deshalb ausdrücklich auf folgende Elemente der CC-Lizenz hingewiesen. Auszug aus dem deutschsprachigen Textlaut:

„Du darfst:

- **verbreiten** – das Werk vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen
- **neu kombinieren** – Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes anfertigen

Zu den folgenden Bedingungen:

- **Namensnennung** – Du musst den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen (aber nicht so, dass es so aussieht, als würde er dich oder deine Verwendung des Werks unterstützen).
- **Weitergabe unter gleichen Bedingungen** – Wenn du das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeitest, abwandelst oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwendest, darfst du die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur nter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind."

Für die drei Abbildungen erfolgen daher Nennung des Autors mit Nennung der jeweils geltenden CC-Lizenz-Version.

Abbildung 1.1

Seite 4: Anton (2007), Wikimedia Commons, lizenziert: http://creativecommons.org/licenses/bysa/3.0/deed.de

Abbildung 1.2

Seite 5: Ratznium (2007), Wikimedia Commons,lizenziert: http://creativecommons.org/licenses/bysa/3.0/deed.de

Abbildung 1.3

Seite 8: Nunh-huh (2004), Wikimedia Commons,lizenziert: http://creativecommons.org/licenses/bysa/3.0/deed.de

7 Danksagung

Ich möchte allen Menschen danken, die mich während der Arbeit fachlich und menschlich unterstützten, mir Mut machten und mit Ratschlägen zur Seite standen.

Herrn Prof. Dr. Dr. Dr. F. Schmielau, meinem Doktorvater, möchte ich für die Bereitstellung des interessanten Themas danken. Er hat sich viel Zeit für mich genommen und durch seine unkomplizierte Art etwaige Hürden schnell genommen. Unvergessen auch die gemeinsame Päsentations-arbeit mit Familie Schmielau auf der Medizintechnik-Messe MEDICA!

Zu danken habe ich auch den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation der Universität Lübeck:

Frau A. Wilhoeft für die kompetente Unterstützung in Fragen zur Bedienung des LRP und die gute Organisation bezüglich der Vermessung von Probanden und Patienten am LRP.

Herrn Dr. R. Eder für zahlreiche wissenschaftliche Rat-schläge und die vielen interessanten Gespräche, nicht selten auch mit kulinarischen Köstlichkeiten.

Herrn N. Scheel für die schnelle, kompetente und geduldi-ge Hilfe bei PC-Problemen, auch wenn sie für einen Informatiker vielleicht überschaubar erschienen. Für einen Mediziner waren sie es nicht immer.

Meinen lieben Eltern danke ich dafür, mich Zeit meines Lebens gefördert zu haben und dass sie mir das Medizin-studium ermöglichten.

Meiner lieben Frau Alexandra danke ich für ihr unendliches Verständnis während vieler Jahre der Ausbildung. Sie gab mir immer wieder die Kraft, meine Arbeit voranzubringen.

Der Familie meiner Frau danke ich für die warmherzige menschliche Unterstützung während der ganzen Jahre.

Meinem kleinen Sohn Janne-Paavo danke ich für die zu-sätzliche Freude, die er in mein Leben brachte. Trotz zahlreicher schlafloser Papa-Nächte, gab er mir in der letzten Phase der Arbeit viel Schaffenskraft.

8 Lebenslauf

Persönliche Angaben

Claudius Knepel-Stoll, geb. Knepel
Geburtsdatum: 02.12.1979
Geburtsort: Hamburg
Staatsangehörigkeit: Deutsch
Familienstand: Verheiratet, 1 Kind

Schulische Laufbahn

06/86-07/90 Grundschule Lütjenmoor Norderstedt

08/90-07/99 Coppernicus-Gymnasium Norderstedt

8 Lebenslauf

Studium

10/00-05/07 Studium Humanmedizin Universität Lübeck

09/02 Ärztliche Vorprüfung

03/03 Famulatur Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Uniklinik Lübeck

08/03 Erstes Staatsexamen Medizin

04/04 und 10/04 Famulatur Asklepios Klinik Bad Oldesloe, Innere Medizin

10/04-04/05 Praktikum Notarztwagen, Uniklinik Lübeck

03/05 Famulatur Klinik für Chirurgie, Uniklinik Lübeck

09/05 Famulatur Allgemeinmedizin, Praxis Prof. Träder, Lübeck

03/06 Zweites Staatsexamen Medizin

05/07 Drittes Staatsexamen Medizin

Klinische Tätigkeiten während des Studiums

10/01-01/06 Studentische Tätigkeit in der Klinik für Herzchirurgie, Uniklinik Lübeck, Patientenversorgung auf der IMC-Station (intermediate care)

Auslandsaufenthalte

06/99-08/99 Uppsala International Summer School

Kurs: Swedish Level IV
Kurs: Den svenska välfärdsstaten- Kurs über das schwedische Gesundheits-und Wohlfahrtssystem

05/00 TISUS-Zertifikat (Test in Swedish for University Studies), Universität Göteborg

Sprachen
Englisch gut
Schwedisch fließend

8 Lebenslauf

Bisheriger beruflicher Werdegang

07/07-10/08 Arzt in Weiterbildung Innere Medizin, Regio Klinik Pinneberg

11/08-05/09 Arzt in Weiterbildung Neurologie, Regio Klinik Pinneberg

06/09-07/10 Arzt in Weiterbildung Chirurgie und Orthopädie, Gemeinschaftspraxis Stolley & Poetsch, Hamburg

seit 08/10 Arzt in Weiterbildung Innere Medizin und Allgemeinmedizin Gemeinschaftspraxis Stucke & Richter, Norderstedt

Anhang

Die Genehmigung der Ethikkommission bezüglich der Arbeit mit Probanden und Patienten am LRP trägt folgendes Aktenzeichen: 97-110 vom 9.10.1997

Titel des Ethikantrages: Rehabilitation von Gesichtsfelddefekten

Anhang

Außenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
-60	-15
-60	-9
-60	-3
-60	9
-60	15
-60	21
-57	-24
-57	-18
-57	-12
-57	12
-57	18
-57	24
-54	-27
-54	-21
-54	-15
-54	15
-54	21
-54	27
-51	-30
-51	-24
-51	-18
-51	18
-51	24
-51	30
-48	-33
-48	-27
-48	-21
-48	21
-48	27
-48	33
-45	-36
-45	-30
-45	-24
-45	24
-45	30
-45	36
-42	-39
-42	-33
-42	-27
-42	27
-42	33
-42	39
-39	-42
-39	-36
-39	-30
-39	30

Anhang

Außenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
-39	36
-39	42
-36	-45
-36	-39
-36	-33
-36	33
-36	39
-36	45
-33	-48
-33	-42
-33	-36
-33	36
-33	42
-33	48
-30	-51
-30	-45
-30	-39
-30	39
-30	45
-30	51
-27	-54
-27	-48
-27	-42
-27	42
-27	48
-27	54
-24	-57
-24	-51
-24	-45
-24	45
-24	51
-24	57
-21	-60
-21	-54
-21	-48
-21	48
-21	54
-21	60
-18	-57
-18	-51
-18	-45
-18	45
-18	51
-18	57
-15	-60
-15	-54
-15	-48

Anhang

Außenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
-15	36
-15	42
-15	48
-12	-57
-12	-51
-12	-45
-12	45
-12	51
-12	57
-9	-60
-9	-54
-9	-48
-9	48
-9	54
-9	60
-6	-57
-6	-51
-6	-45
-6	45
-6	51
-6	57
-3	-60
-3	-54
-3	-48
-3	48
-3	54
-3	60
0	-57
0	-51
0	-45
0	45
0	51
0	57
3	-60
3	-54
3	-48
3	48
3	54
3	60
6	-57
6	-51
6	-45
6	45
6	51
6	57
9	-60
9	-54

Anhang

Außenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
9	-48
9	48
9	54
9	60
12	-57
12	-51
12	-45
12	45
12	51
12	57
15	-60
15	-54
15	-48
15	48
15	54
15	60
18	-57
18	-51
18	-45
18	45
18	51
18	57
21	-60
21	-54
21	-48
21	48
21	54
21	60
24	-57
24	-51
24	-45
24	45
24	51
24	57
27	-54
27	-48
27	-42
27	42
27	48
27	54
30	-51
30	-45
30	-39
30	39
30	45
30	51
33	-48

Anhang

Außenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
33	-42
33	-36
33	36
33	42
33	48
36	-45
36	-39
36	-33
36	33
36	39
36	45
39	-42
39	-36
39	-30
39	30
39	36
39	42
42	-39
42	-33
42	-27
42	27
42	33
42	39
45	-36
45	-30
45	-24
45	24
45	30
45	36
48	-33
48	-27
48	-21
48	21
48	27
48	33
51	-30
51	-24
51	-18
51	18
51	24
51	30
54	-27
54	-21
54	-15
54	15
54	21
54	27

Anhang

Außenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
57	-24
57	-18
57	-12
57	12
57	18
57	24
60	-21
60	-15
60	-9
60	9
60	15
60	21
63	-18
63	-12
63	-6
63	6
63	12
63	18
66	-15
66	-9
66	-3
66	3
66	9
66	15

Anhang

Mittelbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
-42	-21
-42	-15
-42	-9
-42	-3
-42	3
-42	9
-42	15
-42	21
-39	-24
-39	-18
-39	-12
-39	-6
-39	6
-39	12
-39	18
-39	24
-36	-27
-36	-21
-36	-15
-36	-9
-36	-3
-36	3
-36	9
-36	15
-36	21
-36	27
-33	6
-33	12
-33	18
-33	24
-33	30
-30	-33
-30	-27
-30	-21
-30	-15
-30	-9
-30	-3
-30	3
-30	9
-30	15
-30	21
-30	27
-30	33
-27	-36
-27	-30
-27	-24
-27	-18

Anhang

Mittelbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
-27	-12
-27	-6
-27	6
-27	12
-27	18
-27	24
-27	30
-27	36
-24	-39
-24	-33
-24	-27
-24	-21
-24	-15
-24	-9
-24	-3
-24	3
-24	9
-24	15
-24	21
-24	33
-24	39
-21	-42
-21	-36
-21	-30
-21	-24
-21	24
-21	30
-21	36
-21	42
-18	-39
-18	-33
-18	-27
-18	27
-18	33
-18	39
-15	-42
-15	-36
-15	-30
-15	-24
-15	24
-15	30
-15	36
-15	42
-12	-45
-12	-39
-12	-33
-12	-27

Anhang

Mittelbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
-12	27
-12	33
-12	39
-9	-42
-9	-36
-9	-30
-9	-24
-9	24
-9	30
-9	36
-9	42
-6	-45
-6	-39
-6	-33
-6	-27
-6	27
-6	33
-6	39
-6	45
-3	-42
-3	-36
-3	-30
-3	-24
-3	24
-3	30
-3	36
-3	42
0	-39
0	-33
0	-27
0	27
0	33
0	39
3	-42
3	-36
3	-30
3	-24
3	24
3	30
3	36
3	42
6	-45
6	-39
6	-33
6	-27
6	27
6	33

Anhang

Mittelbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
6	39
6	45
9	-42
9	-36
9	-30
9	-24
9	24
9	30
9	36
9	42
12	-45
12	-39
12	-33
12	-27
12	27
12	33
12	39
12	45
15	-42
15	-36
15	-30
15	-24
15	24
15	30
15	36
15	42
18	-39
18	-33
18	-27
18	27
18	33
18	39
21	-42
21	-36
21	-30
21	-24
21	24
21	30
21	36
21	42
24	-39
24	-33
24	-27
24	-21
24	-15
24	-9
24	-3

Anhang

Mittelbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
24	3
24	9
24	15
24	21
24	27
24	33
24	39
27	-36
27	-30
27	-24
27	-18
27	-12
27	-6
27	6
27	12
27	18
27	24
27	30
27	36
30	-33
30	-27
30	-21
30	-15
30	-9
30	-3
30	3
30	9
30	15
30	21
30	27
30	33
33	6
33	12
33	18
33	24
33	30
36	-27
36	-21
36	-15
36	-9
36	-3
36	3
36	9
36	15
36	21
36	27
39	-24

Anhang

Mittelbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
39	-18
39	-12
39	-6
39	6
39	12
39	18
39	24
42	-21
42	-15
42	-9
42	-3
42	3
42	9
42	15
42	21

Anhang

Innenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
-21	-18
-21	-12
-21	-6
-21	0
-21	6
-21	12
-21	18
-18	-21
-18	-15
-18	-9
-18	-3
-18	3
-18	9
-18	15
-18	21
-15	-18
-15	-12
-15	-6
-15	0
-15	6
-15	12
-15	18
-12	-21
-12	-15
-12	-9
-12	-3
-12	3
-12	9
-12	15
-12	21
-9	-18
-9	-12
-9	-6
-9	0
-9	6
-9	12
-9	18
-6	-21
-6	-15
-6	-9
-6	-3
-6	3
-6	9
-6	15
-6	21
-3	-18
-3	-12

Anhang

Innenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
-3	-6
-3	0
-3	6
-3	12
-3	18
0	-21
0	-15
0	-9
0	-3
0	3
0	9
0	15
0	21
3	-18
3	-12
3	-6
3	0
3	6
3	12
3	18
6	-21
6	-15
6	-9
6	-3
6	3
6	9
6	15
6	21
9	-18
9	-12
9	-6
9	0
9	6
9	12
9	18
12	-21
12	-15
12	-9
12	-3
12	3
12	9
12	15
12	21
15	-18
15	-12

Anhang

Innenbereich

Angaben in Schritten
von 3° und 6°

x	y
15	-6
15	0
15	12
15	18
18	-21
18	-15
18	-9
18	-3
18	3
18	9
18	15
18	21
21	-18
21	-12
21	-6
21	0
21	6
21	12
21	18