# Die Verteilung von Aufmerksamkeit bei zentralem Sehverlust

vorgelegt von
Dipl.-Psych.
Carolin Wienrich
geb. in Löbau

von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium
- Dr. rer. nat. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss

Vorsitzender: Prof. Dr. Manfred Thüring
Gutachterin: Prof. Dr. Gisela Müller-Plath
Gutachter: Prof. Dr. Wilfried Kunde

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 24. April 2015

Berlin 2015

# Danksagung

Die Unterstützung von Frau Prof. Dr. Gisela Müller-Plath war von besonderer Bedeutung für das Gelingen dieser Arbeit. Die kritische Auseinandersetzung mit meinen Gedanken und das Vertrauen in mich sowie die Freiheit für die Entwicklung meiner Forschungsaufgabe schafften ein anregendes und herausforderndes Arbeitsumfeld.

Prof. Dr. Wilfried Kunde danke ich für die Übernahme der Zweitbetreuung.

Ich möchte ausdrücklich die konstruktive und zuverlässige Unterstützung der folgenden Menschen würden: Richard Gross, Nils Klöckner, Nikolaus Röttingen, Katrin Bittrich, Markus Janczyk, Max von Schlippe und Sarah Freytag.

Ein besonderer Dank sei an meine Eltern, Bärbel und Peter Wienrich, und meinen Bruder Bastian Wienrich gerichtet. Sie begleiteten mich mit ihren Erfahrungen, Ratschlägen und vor allem ihrer tiefen Liebe auf meinem Weg.

# Inhaltsverzeichnis


**1. Einführung** **3**
- 1.1. Hintergrund . . . 3
- 1.2. Inhaltlicher Aufbau . . . 4
  - 1.2.1. Theoretischer Teil . . . 4
  - 1.2.2. Empirischer Teil . . . 5
  - 1.2.3. Abschließender Teil . . . 5
- 1.3. Formaler Aufbau . . . 5

**2. Die Makuladegeneration** **7**
- 2.1. Die funktionelle Anatomie des menschlichen Auges . . . 8
- 2.2. Das klinische Krankheitsbild . . . 9
- 2.3. Das funktionelle Krankheitsbild . . . 12
  - 2.3.1. Veränderungen der visuellen Sehfunktionen . . . 12
  - 2.3.2. Veränderungen von Alltagsaktivitäten . . . 15
  - 2.3.3. Veränderungen des Fixationsverhaltens . . . 18
- 2.4. Prävalenz . . . 18
- 2.5. Risikofaktoren . . . 19
- 2.6. Diagnosemethoden . . . 19
  - 2.6.1. Diagnostik funktioneller Veränderungen . . . 19
- 2.7. Therapie-, Rehabilitations- und Trainingsprogramme . . . 21
- 2.8. Resümee für die vorliegende Arbeit . . . 21

**3. Augenbewegungen in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition, dem Alter sowie eines zentralen Sehverlustes** **23**
- 3.1. Die Anatomie und Funktionsweise von Augenbewegungen . . . 24
- 3.2. Parameter der Augenbewegungen . . . 25
  - 3.2.1. Fixationen und Fixationsstabilität . . . 25
  - 3.2.2. Mehrfachfixierungen . . . 34
  - 3.2.3. Sakkaden . . . 36
- 3.3. Monokulares versus binokulares Sehen . . . 39
- 3.4. Resümee für die vorliegende Arbeit . . . 43

**4. Aufmerksamkeit** **44**
- 4.1. Begriffsbestimmung . . . 45
  - 4.1.1. Sprachliche Betrachtung . . . 45
  - 4.1.2. Historische Betrachtung . . . 45
  - 4.1.3. Limitierung und Selektion: Ursache oder Wirkung? . . . 46
  - 4.1.4. Selektion als Ursache: Funktionsbereiche . . . 48
  - 4.1.5. Steuerung und Einheiten der Selektion . . . 49

4.2. Bildliche Veranschaulichungen von Aufmerksamkeit . . . 52
4.3. Arbeitsdefinition . . . 54
4.4. Augenbewegung und Aufmerksamkeit . . . 55
4.5. Resümee für die vorliegende Arbeit . . . 56

**5. Visuelle Suche in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition, dem Alter sowie einem zentralen Sehverlust 57**
5.1. Das Paradigma und seine Parameter . . . 58
5.1.1. Typische empirische Befunde bei der visuellen Suche . . . 59
5.1.2. Visuelle Suche in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition . . . 61
5.1.3. Visuelle Suche in Abhängigkeit vom Alter . . . 62
5.1.4. Visuelle Suche mit Zentralskotomen . . . 62
5.2. Resümee für die vorliegende Arbeit . . . 64

**6. Vorhersagen für Suchverläufe in Abhängigkeit vom Progress eines zentralen Sehverlustes 72**
6.1. Salienz . . . 73
6.2. Salienzbasierte Modelle zur Beschreibung von Aufmerksamkeits- und Augenbewegungsprozessen . . . 74
6.2.1. Salienzkarten . . . 75
6.2.2. Die Größe des Aufmerksamkeitsfokus . . . 75
6.2.3. Verbindung okulomotorischer und attentionaler Salienzmodelle . . . 78
6.2.4. Vorhersagen für die visuelle Suche . . . 80
6.2.5. Einordnung in bisher diskutierte Konzepte . . . 81
6.3. Retinale Mechanismen - Gradienten- versus Fixationsorthypothese . . . 81
6.3.1. Intakte foveale Wahrnehmung . . . 82
6.3.2. Zentraler Sehverlust als Forschungsmethode und als Forschungsgegenstand . . . 83
6.3.3. Eingeschränkte foveale Wahrnehmung . . . 84
6.3.4. Defekte foveale Wahrnehmung . . . 85
6.4. Resümee für die vorliegende Arbeit . . . 88
6.5. Präzisierung der allgemeinen Fragestellung . . . 88
6.5.1. Stand der Dinge . . . 88
6.5.2. Fragestellungen . . . 90
6.5.3. Experimentelles Vorgehen . . . 90

**7. Experiment 1: Visuelle Suche mit simulierten Zentralskotomen 95**
7.1. Hintergrund . . . 97

7.2. Exposé des Experiments 1 . . . 99
7.2.1. Fragestellung . . . 99
7.2.2. Erwartungen . . . 100
7.3. Methode . . . 101
7.3.1. Probanden . . . 101
7.3.2. Apparatur . . . 102
7.3.3. Stimuli . . . 103
7.3.4. Versuchsdurchführung . . . 104
7.3.5. Versuchsplan . . . 105
7.3.6. Datenanalyse . . . 105
7.4. Analyse I - Akkommodation an den Stimuluskontrast (Gruppenanalyse) . . . 108
7.4.1. Hypothesen . . . 108
7.4.2. Analysemethoden . . . 109
7.4.3. Ergebnisse . . . 109
7.4.4. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 113
7.5. Analyse II - Akkommodation an den Stimuluskontrast (individuelle Analysen) 114
7.5.1. Hypothesen . . . 115
7.5.2. Analysemethoden . . . 115
7.5.3. Ergebnisse . . . 115
7.5.4. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 120
7.6. Analyse III: Unterschiede zwischen den Gruppen . . . 120
7.6.1. Hypothesen . . . 120
7.6.2. Analysemethoden . . . 120
7.6.3. Ergebnisse . . . 121
7.7. Analyse IV: Diskriminanzanalyse . . . 123
7.7.1. Hypothesen . . . 123
7.7.2. Analysemethoden . . . 123
7.7.3. Ergebnisse . . . 123
7.7.4. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 125
7.8. Diskussion . . . 126
7.8.1. Hintergrund . . . 126
7.8.2. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . 128
7.8.3. Einordnung in bisherige Befunde . . . 129
7.8.4. Theoretische Implikationen . . . 132
7.8.5. Praktische Implikationen . . . 133
7.8.6. Offene Fragen . . . 134
7.9. Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung . . . 135

**8. Experiment 2** **137**
8.1. Hintergrund . . . 139
8.2. Exposé des Experiments 2 . . . 139
8.2.1. Fragestellung . . . 139
8.2.2. Erwartungen . . . 141
8.3. Methode . . . 141
8.3.1. Probanden . . . 141
8.3.2. Apparatur . . . 142
8.3.3. Stimuli . . . 142
8.3.4. Versuchsdurchführung . . . 144
8.3.5. Versuchsplan . . . 145
8.4. Analyse I - Überprüfung der experimentellen Manipulationen . . . 148
8.4.1. Design . . . 148
8.4.2. Abhängige Variablen . . . 148
8.4.3. Hypothesen . . . 148
8.4.4. Analysemethoden . . . 149
8.4.5. Ergebnisse . . . 149
8.4.6. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 151
8.5. Analyse II: Interaktion Gruppe und Stimuluskontrast bei *FCUE 2* und *TPOS 2* . . . 151
8.5.1. Hintergrund . . . 151
8.5.2. Design . . . 152
8.5.3. Abhängige Variable . . . 152
8.5.4. Hypothesen . . . 153
8.5.5. Analyse . . . 153
8.5.6. Ergebnisse . . . 154
8.5.7. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 154
8.6. Diskussion . . . 155
8.6.1. Hintergrund . . . 155
8.6.2. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . 156
8.6.3. Aufmerksamkeitsverteilung . . . 157
8.7. Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung . . . 158

**9. Experiment 3** **161**
9.1. Hintergrund . . . 163
9.2. Probleme und Lösungsvorschläge bei der Synchronisation mit Experiment 1 . . . 163
9.2.1. Geplante Zusammensetzung der Patientenstichprobe . . . 164
9.2.2. Tatsächliche Zusammensetzung der Patientenstichprobe . . . 165

9.2.3. Konsequenzen für das experimentelle Vorgehen . . . 168
9.3. Methode . . . 171
9.3.1. Probanden . . . 171
9.3.2. Apparatur . . . 171
9.3.3. Stimuli . . . 172
9.3.4. Versuchsdurchführung . . . 172
9.3.5. Versuchsplan . . . 172
9.3.6. Datenanalyse . . . 173
9.4. Analyse I - Alterseffekte . . . 174
9.4.1. Design . . . 174
9.4.2. Abhängige Variablen . . . 175
9.4.3. Hypothesen . . . 176
9.4.4. Analysemethoden . . . 176
9.4.5. Ergebnisse . . . 177
9.4.6. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 180
9.5. Analyse II - Akkommodation an den *Stimuluskontrast* der konsistenten Patienten (individuelle Analysen) . . . 180
9.5.1. Design . . . 181
9.5.2. Abhängige Variablen . . . 181
9.5.3. Hypothesen . . . 181
9.5.4. Analysemethoden . . . 182
9.5.5. Ergebnisse . . . 183
9.5.6. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 185
9.6. Analyse III - Akkommodation an den *Stimuluskontrast* der inkonsistenten Patienten (individuelle Analysen) . . . 188
9.6.1. Ergebnisse . . . 188
9.6.2. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 188
9.7. Diskussion . . . 190
9.7.1. Hintergrund . . . 190
9.7.2. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . 192
9.7.3. Einordnung in bisherige Befunde . . . 192
9.7.4. Erklärung der Reaktionszeitanstiege . . . 194
9.7.5. Offene Fragen . . . 194
9.8. Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung . . . 195

**10. Experiment 4** **198**
10.1. Hintergrund . . . 200
10.1.1. Das *UFOV*-Paradigma . . . 200

10.2. Exposé des Experiments 4 . . . 201
10.2.1. Fragestellung . . . 201
10.2.2. Erwartungen . . . 203
10.3. Methode . . . 203
10.3.1. Probanden . . . 203
10.3.2. Apparatur . . . 206
10.3.3. Stimuli . . . 206
10.3.4. Versuchsdurchführung . . . 207
10.3.5. Versuchsplan . . . 209
10.3.6. Abhängige Variablen . . . 210
10.3.7. Analyse . . . 210
10.4. Analyse I: Gruppenvergleich . . . 210
10.4.1. Design . . . 210
10.4.2. Abhängige Variable . . . 211
10.4.3. Hypothesen . . . 212
10.4.4. Analyse . . . 212
10.4.5. Ergebnisse . . . 212
10.4.6. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 214
10.5. Analyse II: Einzelvergleiche . . . 214
10.5.1. Design . . . 214
10.5.2. Abhängige Variable . . . 214
10.5.3. Hypothesen . . . 215
10.5.4. Analyse . . . 216
10.5.5. Ergebnisse . . . 216
10.5.6. Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse . . . 217
10.6. Diskussion . . . 218
10.6.1. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . 219
10.6.2. Einordnung in bisherige Befunde . . . 219
10.6.3. Aufmerksamkeitsverteilung . . . 221
10.6.4. Offene Fragen . . . 222
10.7. Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung . . . 223

**11. Gesamtdiskussion** **225**
11.1. Hintergrund . . . 226
11.2. Inhaltlicher Aufbau . . . 226
11.3. Theoretischer Teil . . . 226
11.4. Empirischer Teil . . . 230
11.4.1. Zentraler Sehverlust als Forschungsmethode . . . 230

11.4.2. Zentraler Sehverlust als Forschungsgegenstand . . . . . 231
11.5. Beantwortung der Fragestellung . . . . . 233
11.6. Simulationsstudie versus Patientenstudie . . . . . 236
11.6.1. direkte versus indirekte Effekte . . . . . 236
11.6.2. kurzfristige versus langfristige Effekte . . . . . 237
11.7. Offene Fragen . . . . . 238
11.7.1. Manipulation der Größe des Aufmerksamkeitsfokus . . . . . 238
11.7.2. Maßeinheit für den Aufmerksamkeitsfokus . . . . . 239
11.7.3. Nutzen und Kosten der Akkommodation des Vorgangs, den Aufmerksamkeitsfokus groß einzustellen . . . . . 239
11.7.4. Wer kann den Fokus weit stellen? . . . . . 241
11.7.5. Generalisierung . . . . . 247
11.8. Fazit . . . . . 247

**12. Literaturverzeichnis** **249**

**A. Glossar** **268**

**B. Anhang zu Kapitel 1** **272**
B.1. Therapiemöglichkeiten . . . . . 273
B.2. Rehabilitationsprogramme . . . . . 274
B.3. Trainingsprogramme . . . . . 275
B.3.1. Exzentrisches Blicktraining . . . . . 276
B.3.2. Kontrolle der Augenbewegung . . . . . 277
B.3.3. Perzeptuelles Lernen . . . . . 278

# Zusammenfassung

Durch degenerative Prozesse, die in der Fovea centralis stattfinden, leiden Patienten mit altersbedingter Makuladegeneration (AMD) an einem zentralen Sehverlust (zSV). Zunächst ist das zentrale Sehen getrübt (semi-opaker zSV), später steht es für die Wahrnehmung nicht mehr zur Verfügung (opaker zSV). Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung von Veränderungen der visuellen Aufmerksamkeit, welche mit einem solchen zSV zusammenhängen. Das Thema kann aus zwei verschiedenen Perspektiven beleuchtet werden:
Aus einer anwendungsbezogenen Perspektive kann man sich fragen, wie sich verschiedene Aufmerksamkeitsprozesse verändern, wenn ein zSV vorliegt und verschiedene experimentelle Paradigmen mit AMD Patienten und entsprechenden Kontrollen durchführen.
Aus einer grundlagenwissenschaftlichen Perspektive kann man sich fragen, was wir über den Zusammenhang zwischen Sehschärfe und Aufmerksamkeitsprozesse beim Vorliegen eines zSV lernen können. Während das Vorgehen im ersten Fall einen eher beschreibenden Charakter für den Untersuchungsgegenstand zSV aufweist, impliziert der zweite Fall ein theoriegeleitetes Vorgehen, bei dem der zSV zunächst als Forschungsmethode verstanden wird, bevor er in einem zweiten Schritt als Untersuchungsgegenstand behandelt werden kann. Die vorliegende Arbeit folgt dem zweiten Weg. Es wird systematisch untersucht, wie Faktoren der AMD selbst (Opazität) sowie objektive Parameter der Aufgabenstellung (Stimuluskontrast, Suchmenge) das visuelle Suchverhalten determinieren. Dabei wurden zwei Hypothesen kontrastiert (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*), die den Zusammenhang zwischen der Größe des Aufmerksamkeitsfokus und des Sehschärfegradienten der Retina modellieren. Im ersten Teil der Arbeit wurde die folgende Fragestellung beantwortet:
In welchem Zusammenhang stehen die retinale Sehschärfe und die Verteilung von Aufmerksamkeit? Um dies zu untersuchen, wurde der zentrale Sehverlust als Forschungsmethode in Form eines blickkontingenten simulierten zSV angewendet. Das wesentliche Ergebnis des ersten Experimentes bestand darin, dass sich das Verhalten von Personen mit simulierten starken Skotomen am besten als Suche mit konstant großer Aufmerksamkeitsverteilung charakterisieren lässt. Experiment 2 zeigt, dass diese Strategie auch dann auftritt, wenn die Probanden aufgrund sehr kurzer Darbietungsdauer keine Augenbewegungen machen können. Die Ergebnisse des ersten Experimentes lassen sich daher nicht durch ein Artefakt okkulomotorischer Irritation erklären.
Im zweiten Teil der Arbeit wurde gefragt, welche Strategien der Aufmerksamkeitsverteilung AMD Patienten zeigen und inwiefern die Strategien von der Opazität ihres zSV, sprich vom Fortschritt der Erkrankung abhängen. Hier bildet der zSV also den Untersuchungsgegenstand. In Experiment 3 und 4 wurden dann AMD Patienten untersucht, die Gesichtsfeldausfälle aufweisen, die denen der Simulationen in Experiment 1 und 2 prinzipiell entsprechen. Das Verhalten der Patienten steht in guter Übereinstimmung mit der *Gradientenhypothese*, auch wenn sich für einzelne Patienten Abweichungen zum Modellverhalten ergaben.

# Summary

Age-related Macular Degeneration (AMD) is a retinal disease causing the progressive loss of macular vision. Initially, central vision seems like a light haze (blurred vision), which gradually becomes more and more dense. Later on, the central scotoma is entirely evolved (central vision loss), confining the patient to rely solely on peripheral vision to achieve visual tasks. The main aim of the present thesis is to investigate visual attention in adaptation to central vision loss progress. The topic might be examined from two points of view:

From an applied point of view, one could ask: How does a central vision loss impact visual attention? In order to investigate this impact, different experimental paradigms might be performed with AMD patients and corresponding controls. From a more scientific point of view, one could ask: What could we learn about the interrelationship between visual acuity and visual attentional in the presence of a central vision loss? Whereas the approach in the first case reveals a descriptive character, the second case implies a theory-driven approach. At the last-mentioned approach, the central vision loss initially serves as research method, before it becomes the subject of research. This thesis focuses on the second approach. It's been systematically examined how factors of the disease itself (scotom opacity) as well as more objective parameters of the task (stimulus contrast, item size) determine the visual search. In order to model the interrelationship between the attentional focus size and visual acuity, two hypotheses were contrasted (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*). In the first part of the present thesis, the following research questions were answered:

How do retinal acuity and the visual attention interrelate? Does the attentional focus size depend upon the fixation point on the retina? In order to answer these two questions, the central vision loss serves as research method in the form of gaze contingent simulated scotomata.

The main result of Experiment 1 revealed constant large attentional focus sizes in participants with opaque simulated scotomata. Experiment 2 underlined the results of Experiment 1, even though, no eye movements were possible. Oculomotor irritation could be excluded.

The second part answered the following questions:

How do AMD patients allocate their visual attention? Does this allocation depend on the progress of their central vision loss (impact of scotom opacity)? At this point, the central vision loss becomes the subject of research.

In Experiment 3 and 4, the visual search behavior of AMD patients with central scotomata corresponded with simulations investigated in Experiment 1 and 2. While individual patients differed from the expectations, the results were in line with the *Gradientenhypothese*.

# 1 Einführung

## 1.1 Hintergrund

Die altersbedingte Makuladegeneration (AMD) stellt ein ernstzunehmendes Problem für ältere Menschen dar. Allein in Deutschland lag die Anzahl der AMD Patienten 2012 bei rund 1.61 Millionen. Aufgrund der demografischen Entwicklung ist damit zu rechnen, dass diese Zahl im Jahr 2030 bei 2.10 Millionen liegen wird (Wolfram & Pfeiffer, 2014). Trotz intensiver medizinischer Forschung kann eine Heilung nicht in Aussicht gestellt werden. Da diese Erkrankung allerdings eine Beeinträchtigung in nahezu allen Lebensbereichen mit sich bringen kann, stellt sich die Frage, wie die Betroffenen mit den visuellen Veränderungen umgehen. Diesbezüglich wird seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts verstärkt geforscht. Daraus resultierend gibt es eine große Bandbreite von Ergebnissen, wie sich das Blickverhalten von AMD Patienten verändert und wie sie verschiedene Leseaufgaben lösen. Demgegenüber wurden andere Aufgaben, welche wichtige Lebenssituationen repräsentieren (z.B. visuelle Suche), nicht ebenso intensiv beforscht. Darüber hinaus wurden in der Vergangenheit kaum Verbindungen von Ergebnissen experimenteller Forschung zu höheren kognitiven Verarbeitungsprozessen (z.B. Verteilung von Aufmerksamkeit) gezogen. Weiter bleibt in vielen Studien unklar, inwiefern die Skotomopazität (Erklärung siehe Anhang A) einen Einfluss auf das untersuchte Verhalten hat. Es gibt nur wenige Arbeiten, in denen Patienten in verschiedenen Krankheitsstadien oder Probanden mit unterschiedlich stark ausgeprägten Skotomopazitäten untersucht wurden. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Teil dieser Forschungslücken zu schließen.

## 1.2 Inhaltlicher Aufbau

Die vorliegende Arbeit umfasst drei Hauptteile: einen theoretischen Teil (Kapitel 2-6), einen empirischen Teil (Kapitel 7-10) sowie einen abschließenden, zusammenfassenden Teil (Kapitel 11).

### 1.2.1 Theoretischer Teil

Im zweiten Kapitel wird das Krankheitsbild der AMD beschrieben sowie deren Folgen für die visuellen Sehfunktionen und den Alltag der Betroffenen. Sie werden mit altersbedingten Einschränkungen kontrastiert. Dies erscheint notwendig, da spätere Ergebnisse getrennt auf Einflüsse des Alters und die eines zentralen Sehverlustes (zSV) geprüft werden. Das dritte Kapitel gibt einen Überblick über Augenbewegungsparameter und deren Abhängigkeit von der retinalen Reizposition, vom Alter sowie von einem zSV. Im späteren Verlauf der Arbeit werden gerade diese dargestellten Augenbewegungsparameter eine zentrale Rolle spielen. Im vierten Kapitel wird nach einer knappen sprachlichen, historischen und aktuellen Debatte zum Thema Aufmerksamkeit eine Arbeitsdefinition für Aufmerksamkeit gegeben. In Zusammenhang mit dem vorhergehenden Kapitel werden Verbindungen zwischen Maßen der Augenbewegungen sowie kognitiver Prozesse vorgeschlagen, welche in der eigenen experimentellen Umsetzung Anwendung finden. In dem fünften Kapitel wird das experimentalpsychologische Paradigma der visuellen Suche skizziert, mit welchem Augenbewegungen- und Aufmerksamkeitsprozesse untersucht werden können. Ähnlich wie im dritten Kapitel werden die typischen visuellen Suchbefunde in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition, vom Alter sowie von einem zSV berichtet. Das sechste Kapitel stellt Salienzkartenmodelle vor, mit Hilfe derer Augenbewegungen- und Aufmerksamkeitsprozesse bei einer visuellen Suche vorhergesagt werden können. Diese Vorhersagen werden auf den Fall erweitert, in dem das zentrale Sehen nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr zur Verfügung steht. Für den zuletzt benannten Fall werden zwei konkurrierende Hypothesen (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*) formuliert, welche in der vorliegenden Arbeit geprüft werden. Dieses fünfte Kapitel gilt als grundlegend für die Herausarbeitung der Fragestellung und ist somit zentral für das Verständnis der nachfolgenden Kapitel, in welchen das experimentelle Vorgehen geschildert wird.

### 1.2.2 Empirischer Teil

Es wurden vier visuelle Aufmerksamkeitsexperimente unter verschiedenen Ausprägungen eines zSV (Skotomopazität bzw. Progress der AMD) durchgeführt. Direkte Auswirkungen der fovealen Beeinträchtigungen (zentrale Skotome) wurde von zusätzlichen indirekten Effekten entkoppelt. Mit indirekt werden hier alle Einflussfaktoren bezeichnet, welche nicht direkt im Zusammenhang mit dem zSV, wie etwa das Alter, stehen. Dazu wurden die Experimente auf der Basis zweier Populationen realisiert. Mit jungen normalsichtigen Probanden wurden Simulationsstudien durchgeführt, um die direkten Einflüsse eines zSV zu erforschen (Experiment 1 (Kapitel 7) und Experiment 2 (Kapitel 8)). Unbestritten weisen Ergebnisse, gewonnen aus Simulationsstudien, nur bedingt eine Gültigkeit für Patienten auf. Daher wurden die Ergebnisse dieser Experimente an klinischen Stichproben evaluiert (Experiment 3 (Kapitel 9) und Experiment 4 (Kapitel 10)). Darüber hinaus wurden in jedem Experiment zwei hypothetische retinale Mechanismen im Zusammenhang mit der Verteilung von Aufmerksamkeit unter zentralen und exzentrischen Blickbedingungen miteinander verglichen (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*).

### 1.2.3 Abschließender Teil

Im abschließenden 11. Kapitel wurden die empirischen Befunde im Zusammenhang mit den theoretischen Annahmen der einleitenden Kapitel diskutiert sowie ein Ausblick für zukünftige Forschungsvorhaben in diesen Bereich gegeben.

## 1.3 Formaler Aufbau

Es sei darauf hingewiesen, dass zugunsten einer besseren Lesbarkeit, auf eine geschlechtsspezifische Bezeichnung verzichtet wurde. Es wurde ausschließlich die männliche Form verwendet. Weiterhin sei der Leser auf einige strukturelle Besonderheiten in der vorliegenden Arbeit hingewiesen, die Lesbarkeit und das Verständnis verbessern sollen. Jedes Kapitel beginnt mit einer knappen Zusammenfassung sowie einer Auflistung von Schlüsselwörtern, welche dem Leser eine erste Orientierung über die Inhalte des Kapitels geben sollen. Am Ende sind die jeweils verwendeten Abkürzungen aufgelistet, so dass sie jeder Zeit abrufbar sind. Weiterhin ist am Ende der Arbeit ein Glossar (Anhang A) angefügt, in dem die zentralen Begriffe kurz erklärt werden. Diesem Glossar sind ebenso die Abkürzungen aller verwendeten Einheiten zu entnehmen. Zuletzt möchte ich noch auf grau unterlegte Exkurse hinweisen. Diese bieten dem interessierten Leser weiterführende Informationen.

### Abkürzungen

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

zSV: zentraler Sehverlust

# 2

# Die Makuladegeneration

*Dort, wo ich früher das Gesicht meines Mannes erkannt habe, sehe ich heute einen grauen, verschwommenen Tropfen.*
(Aussage eines Patienten in einem persönlichen Gespräch, 2011)


**Zusammenfassung**

In dem vorliegenden Kapitel wird die Makuladegeneration (MD) beschrieben, eine Familie von Erkrankungen, die das menschliche Auge, genauer die Makula betreffen. Die medizinischen Grundlagen werden kurz umrissen. Im Mittelpunkt stehen die funktionellen Einschränkungen, welche mit diesem Krankheitsbild verbunden sind und für den Untersuchungsgegenstand der Arbeit relevant erscheinen.



**Schlüsselwörter**

MD, Krankheitsbild, Risikofaktoren, Diagnosemethoden,Therapieansätze

Der Begriff *Makuladegeneration* beschreibt eine Gruppe retinaler Erkrankungen, welche die *Makula lutea* (gelber Fleck, Makula) der Netzhaut betreffen. Allen gemein ist ein allmählicher Funktionsverlust der Stelle des schärfsten Sehens im menschlichen Auge. Die *altersbedingte Makuladegeneration* (*AMD*) ist eine Form, welche vornehmlich Menschen ab dem 50. Lebensjahr betrifft. Erstmals beschrieben und veranschaulicht wurde die AMD von Pagenstecher und Genth (1875) in ihrem Buch „Atlas der pathologischen Anatomie des Augapfels". Seither umfasst die Nomenklatur Begriffe wie die *diskiforme Degeneration*, die *Kuhnt Junius Degeneration* und die *senile Degeneration*. In jüngerer Zeit werden die Termini *neovaskuläre* (auch *feuchte*) und *geographische* (auch *trockene*) Atrophie verwendet und unterschieden (Hogg & Chakravarthy, 2006).
Im Folgenden sei ein knapper Exkurs in die funktionelle Anatomie des menschlichen Auges erlaubt. Dabei werden zwei Areale fokussiert, welche für das Verstehen einer MD wichtig sind. Ich beziehe mich dabei im Wesentlichen auf die Ausführungen dazu in Levine (2000) und Pinel (2003).

## 2.1 Die funktionelle Anatomie des menschlichen Auges

Die *Retina* (Netzhaut, innere Augenhaut) wandelt einfallende Lichtreize in Nervenimpulse um. Sie kann als geschichtete Platte illustriert werden, wobei die Signalleitung von inneren (z.B. den Photorezeptoren) zu äußeren retinalen Schichten (z.B. den Ganglienzellen) erfolgt.[1]
Im Hinblick auf die AMD scheint insbesondere die Schicht des **Retinalen Pigmentepithels** (**RPE**) von Bedeutung zu sein (Abbildung 2.1, S. 10, a). Sie liegt als Trennschicht zwischen äußerer Retina und *Choroidea* (Aderhaut). Das RPE hat fünf zentrale Funktionen: eine Schutzfunktion, eine Versorgungsfunktion, eine Entsorgungsfunktion sowie eine Regenerationsfunktion und eine Filterfunktion. Die RPE-Zellen „schützen" vor dem Eintreten von Blut aus der stark vaskularisierenden *Choriocapillaris* (die stark durchblutete Grenzschicht der Aderhaut). Weiterhin „versorgt" das RPE die Retina mit Nährstoffen und Flüssigkeiten, welche über die *Bruch-Membran* (Grenzmembran zwischen der Choroidea und dem RPE) transportiert werden. Durch Phagozytose werden Abbauprodukte (alte Diskmembranen) der Photorezeptoren „entsorgt". Das eingelagerte Melaningranula in den RPE-Zellen (Pigmentierung) „filtert" einfallende Lichstrahlen innerhalb des Auges (Levine, 2000; Pinel, 2003).

Die **Makula lutea** (gelber Fleck, Makula) stellt anatomisch und funktionell eine besondere Region der Retina dar. Sie liegt als grubenförmige Vertiefung in der hinteren Retina,

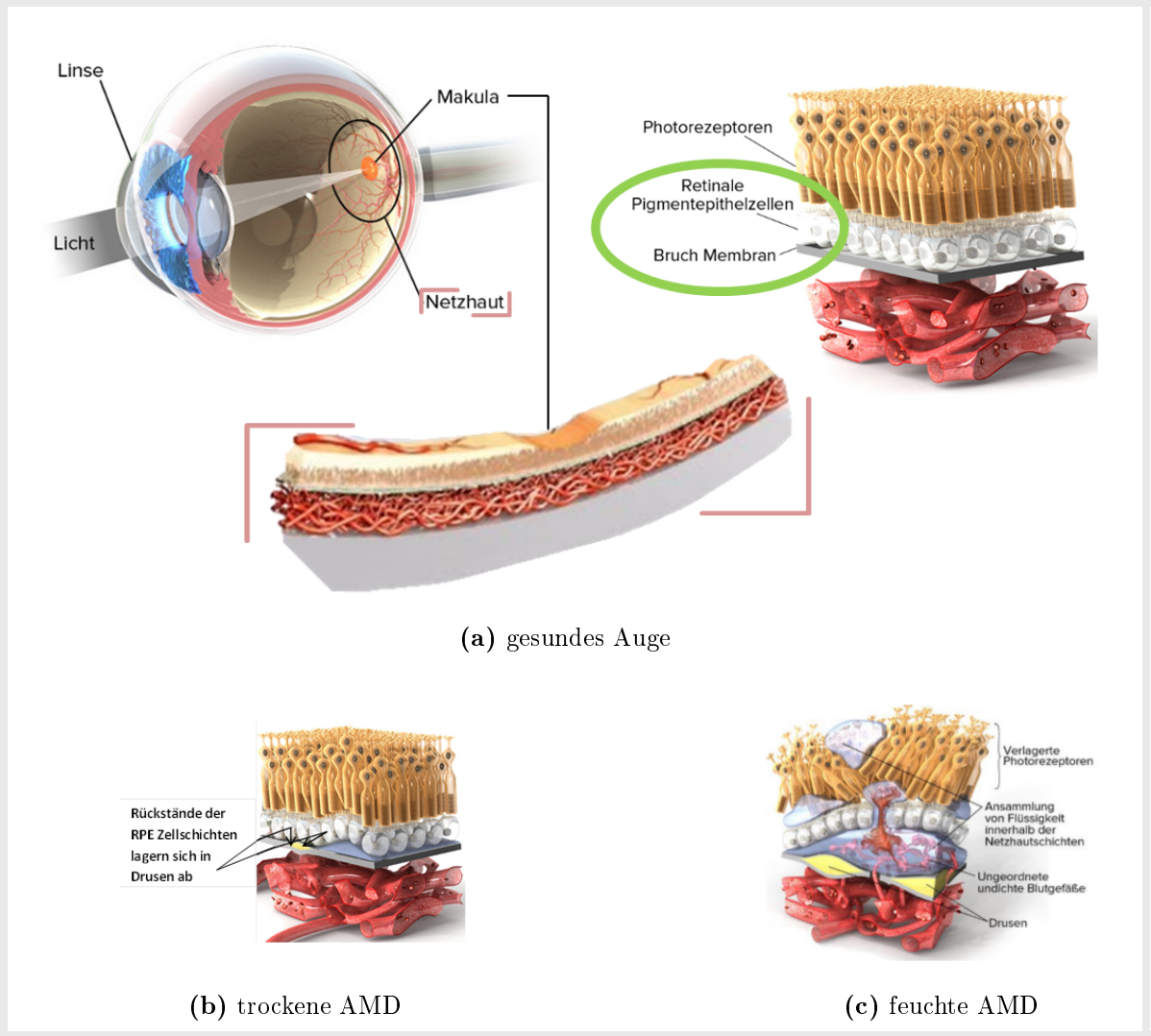
[1] Der Augapfel und nicht der Körper stellt hier den Bezugsrahmen für innen und außen dar. Von außen nach innen bezeichnet also eine Verarbeitung vom Glaskörper zur Aderhaut.

temporal am Sehnerv. Insgesamt beträgt ihr Durchmesser zwischen 2.5 und 5.5 Millimeter (mm). Der tiefste Punkt der Sehgrube wird als *Fovea centralis* (*Foveola*) bezeichnet und mit einer Größe von 0.5 mm (1°)[2] angegeben. Daran schließt sich die *Parafovea* mit 1.0 mm und die *Perifovea* mit 3.0 mm Durchmesser an. Das gefäßarme und im Zentrum gefäßfreie Netzhautareal enthält ein gelbes Pigment, das Lutein, und ist dadurch das einzig farbige Areal der Retina.[3] Eine weitere anatomische Besonderheit ist die Reduktion der äußeren Körnerschicht zu einer Reihe (Abbildung 2.2, S. 11, a). Dadurch dringt hier das Licht beinahe ungestreut zu den Zapfen durch, welche eine geringe Lichtsensitivität aufweisen. Außerdem ist die Makula der Bereich der menschlichen Netzhaut mit der größten Dichte von Zapfen und Stäbchen. In der Fovea centralis befinden sich ausschließlich Zapfen und in der Perifovea ist die größte Stäbchendichte zu lokalisieren. Im gesamten Bereich der Makula ist die Konvergenz zwischen photorezeptiven Zellen und Ganglienzellen gering. In der Fovea centralis beträgt das Verschaltungsverhältnis sogar nur 1:1. Zusammengenommen führen diese anatomischen Charakteristika dazu, dass die Makula lutea, im Speziellen die Fovea centralis, das Areal mit dem stärksten Auflösevermögen, das heißt jenes mit der größten Sehschärfe, ist.

## 2.2 Das klinische Krankheitsbild

Die folgenden Darstellungen lehnen sich an Eter (2009) an.
In dem ICD-10-WHO (WHO, 2013) wird die AMD in Kapitel VII „Krankheiten des Auges und der Augenanhangsgebilde“ (H00–H59) im Abschnitt „Affektionen der Aderhaut und der Netzhaut“ (H30–H36) unter „Degeneration der Makula und des hinteren Poles“ (H35.3) klassifiziert. Allen Veränderungen liegen pathologische Alterungsprozesse innerhalb des retinalen Pigmentepitels (RPE) zugrunde. Stoffwechselendprodukte der photorezeptiven Zellen werden nicht mehr richtig abtransportiert und lagern sich ab. Diese Ablagerungen, auch Drusen genannt, befinden sich im Grenzbereich zwischen Zellen des RPEs und der Bruch'schen Membran (vgl. Abbildung 2.1, S. 10, b). Sie führen zu Unregelmäßigkeiten des RPEs, welche als Hyper- oder Hypopigmentierungen auffallen. Die Veränderungen des Augenhintergrundes entwickeln sich nach Eter (2009) in drei Phasen. In dieser sogenannten *Frühphase* kommt es weder zu Ödemen noch zu Blutungen, diese erste Phase verläuft also immer trocken. Die zweite Phase, die *Spätphase* kann trocken oder feucht verlaufen. Bei einer trockenen Form (geographische Atrophie) kommt es zu kleinen Atrophien des RPE, der Photorezeptoren und der Choriokapillaris, wel-

[2] Insofern nichts anderes angegeben ist, beziehen sich die Gradangaben auf visuelle Sehwinkel.
[3] Samuel Thomas von Soemmerring beobachtete die gelbliche Färbung und führte 1779 den Terminus *gelber Fleck* ein.



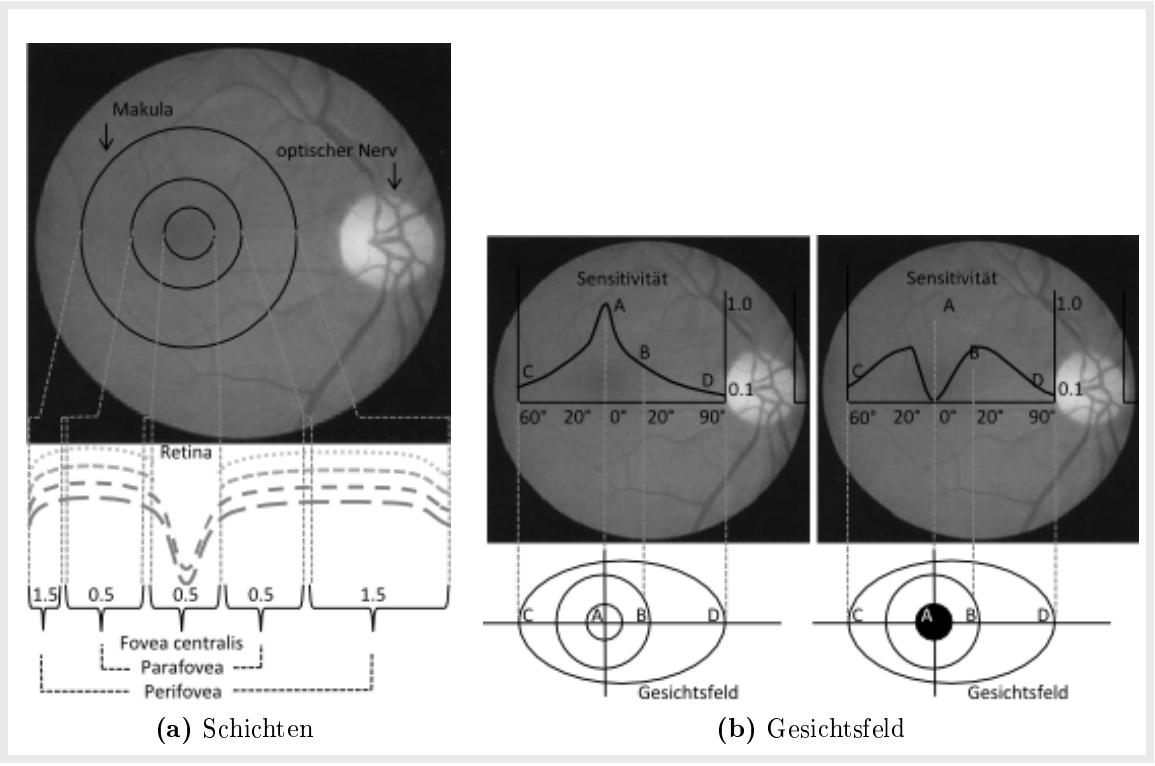

**(a)** gesundes Auge

**(b)** trockene AMD

**(c)** feuchte AMD

**Abbildung 2.1.:** a) menschliches Auge sowie die hier zentralen Schichten der Retina; b) und c) Veränderungen der Retina bei AMD (b) links: trocken; c) rechts: feucht); Auffallend ist die Drusenbildung (gelb dargestellt) und die Verformung der retinalen Schichten sowie das Eindringen von Flüssigkeit. Entnommen und verändert von Seidl (2000).

che im weiteren Verlauf konfluieren. Ihr Verlauf ist schleichend. Bei einer feuchten Form (neovaskuläre Atrophie) bilden sich neue fibrovaskuläre Netzwerke (Neovaskularisationsmembranen) mit dem Ziel, die pathologischen Abblagerungen abzutransportieren. Doch diese neuen Gefäße sind unreif, hoch permeabel und brüchig. Dadurch kommt es zu Lecka-




**(a)** Schichten **(b)** Gesichtsfeld

**Abbildung 2.2.:** a) Die Abbildung zeigt ein Foto des Augenhintergrundes, welches die Strukturen der Makula und des Sehnerven abbildet. Unten sind schematisch die Schichten der Netzhaut dargestellt. Deutlich zu erkennen, ist hier die Reduktion der retinalen Schichten an der Stelle der Fovea centralis. Die Zahlen geben die räumliche Ausdehnungen der Makulastrukturen in Millimetern (mm) an.
b) Links ist das Gesichtsfeldsensitivität eines gesunden Betrachters in Abhängigkeit von der retinalen Exzentrizität dargestellt. Bei 0° befindet sich die Makula centralis, die Region mit der größten Sensitivität. Das Auflösungsvermögen des Auges nimmt mit zunehmender Exzentrizität ab. Rechts stellt sich das Gesichtsfeld eines AMD Patienten dar. Aufgrund der Degeneration der Makula können im zentralen Gesichtsfeld keine Reize mehr wahrgenommen werden (schwarzer Kreis).

gen, welche Ödeme, Blutungen und Pigmentepithelabhebungen im retinalen Bereich zur Folge haben (vgl. Abbildung 2.1, S. 10, c). Die dadurch entstehenden Atrophien führen zu einem meist raschen Fortschreiten der Krankheit. Halten diese neovaskulären Prozesse an, kommt es in der dritten Phase (*Endstadium*) zu der Bildung sogenannter disziformer Narben. Wie später noch erkennbar sein wird, erfolgt die Einordnung in verschiedene Phasen bei verschiedenen Autoren nicht einhellig. Während diese und andere Klassifikationen (vgl. Tabelle 2.2, S. 17) anhand morphologischer Kriterien erfolgen, findet meine eigene Einordnung später mittels funktioneller Kriterien (siehe nächster Abschnitt) statt. Bei

beiden Formen der AMD kommt es zu Gesichtsfeldausfällen im zentralen Bereich, da die Schädigungen retinal zentrale Zellen im Bereich der Makula betreffen. Diese Gesichtsfeldausfälle werden *zentrale Skotome* genannt.

## 2.3 Das funktionelle Krankheitsbild

Mit diesem Abschnitt wird geschildert, wie sich die klinischen Pathologien bei Patienten in verschiedenen Stadien einer AMD Erkrankung äußern. Weiterhin werden *normale* Alterungsprozesse und damit zusammenhängende funktionelle Veränderungen konturiert und von den krankheitsbedingten Pathologien abgegrenzt. Diese Abgrenzung scheint von besonderem Wert zu sein, da später die Leistungen der AMD Patienten in psychologischen Experimenten mit Leistungen der Kontrollprobanden im entsprechenden Alter kontrastiert werden. Da sich das retinale Altern allerdings eher in einem Kontinuum statt punktuell beschreiben lässt, variieren die Angaben bezüglich der *normalen* altersbedingten Veränderungen in verschiedenen Quellen. Weiterhin gilt bei den Vergleichen zu beachten, dass sie unter ophthalmologischen Untersuchungsbedingungen festgestellt wurden. Die Angaben geben also zunächst keinen Hinweis darauf, inwiefern die Veränderungen zu Einschränkungen unter Alltagsbedingungen führen.

### 2.3.1 Veränderungen der visuellen Sehfunktionen

#### Normale Alterungserscheinungen

Wie in Tabelle 2.1 (S. 14) deutlich wird, vermindern sich nahezu alle Sehfunktionen mit zunehmenden Alter. Auffällig werden vornehmlich Probleme beim Sehen in nahen Entfernungen (Lord, 2006), der Kontrastsensitivität (z.B. Elliott et al., 2009; Kosnik, Kline, Fikre & Sekuler, 1987) und bei der Dunkeladaptation (z.B. Jackson, Owsley & McGwin, 1999; Owsley, 2011). Es sei darauf hingewiesen, dass jene Tabelle lediglich einen groben Überblick verschaffen kann und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

**Tabelle 2.1.:**
Veränderung der Sehfähigkeiten unter Bedingungen des normalen Alterns

| Veränderung der Sehfunktion | Ursache | Alter[a] | Verschlechterungsgrad | Beeinträchtigungen im Alltag | Quellen |
|---|---|---|---|---|---|
| verminderte Kontrastsensitivität; vermehrter Lichtbedarf; größere interokulare Streuung | Pupillenverengung; Erhöhung der Linsendichte; Sensitivitätsabnahme photorezeptiver Zellen | 35; 40–50 | 70- Jähriger benötigt 3 × hellere Leuchtdichte als 20-Jähriger; Abnahme der photopischen Sensitivität um .04[b] pro Dekade; Abnahme der skotopischen Sensitivität um .08[b] pro Dekade | Aktivitäten bei schlechten Lichtverhältnissen; Fallrisiko | 1–7 |
| Presbyopie | nachlassende Akkommodationsbreite der Linse | 40 | Akkommodationsbreite mit 20 Jahren: 10 dpt[c]; mit 50 Jahren: 2.5 dpt; mit 70 Jahren: .25 dpt | Lesen; Handarbeit | 8 |
| verzögerte Blenderholung | Verdickung der Linse; Trübung der Linse | 40 | .19[d] | Autofahren bei Nacht; Probleme bei Lichtwechsel | 9 |
| verzögerte Dunkeladaptation | verringerte Anzahl von Stäbchen; Verlangsamte Rhodopsin-Regeneration | 55 | 70- Jähriger 10 Min. länger als 20- Jähriger; 0.02[d]; 8.4 s pro Dek[e] | Autofahren bei Nacht; Fallrisiko | 4,5,10 |
| Verminderung der Sehschärfe | Reduktion der Elastizität und Brechkraft der Linse | 55 | 70 Jahre: 23%; 80 Jahre: 45% | Lesen | 11 |
| Einengung des Gesichtsfeldes | | 20 | 1 dB pro Dek[4] | Autofahren | 12 |

**Tabelle 2.1.:**
Veränderung der Sehfähigkeiten unter Bedingungen des normalen Alterns (Fortsetzung)

| Veränderung der Sehfunktion | Ursache | Alter[a] | Verschlechterungsgrad | Beeinträchtigungen im Alltag | Quellen |
|---|---|---|---|---|---|
| verzögerte Wahrnehmung von sich bewegenden Reizen | verringerte GABA-nerge Funktion im Hirn | 70 | keine Angabe | Probleme bei der Wahrnehmung von Bewegungsrichtungen; Autofahren; Geschwindigkeitsschätzung | [13] |
| schlechtere Farbwahrnehmung | | 70 | | | [8] |

[a]Alter, ab dem die Verschlechterung auftritt in Jahren; [b]Log-Einheiten: c/deg (Sinusperioden pro Grad visueller Sehwinkel)
[c]dpt: Dioptrin; [d]Log-Einheiten: min/Dek (Minute pro Dekade)
[e]Log-Einheiten: s/Dek (Sekunde pro Dekade); [f]Log-Einheiten: dB/Dek (Dezibel pro Dekade)
[1]Jackson & Owsley, 2000; [2]Källstrand-Ericson & Hildingh, 2009; [3]Kosnik, Winslow, Kline, Rasinski & Sekuler, 1988;
[4]McMurdo & Gaskell, 1991; [5]Owsley, 2011; [6]Owsley, McGwin, Sloane, Stalvey & Wells, 2001;
[7]Owsley, Sekuler & Siemsen, 1983; [8]Grandjean, 1991; [9]Neelam, Nolan, Chakravarthy & Beatty, 2009;
[10]Jackson et al., 1999; [11]Eschenbach, 2014; [12]Kozich, 2010
[13]Marmeleira, Ferreira & Fernandes, 2007

#### Erscheinungen bei AMD Patienten

In einem frühen Stadium der AMD werden wenige Symptome beklagt, welche nicht auch typisch für normal alternde Menschen wären. Es treten zunächst Probleme beim Sehen unter schlechten Lichtverhältnissen und bei der Dunkel- und Blendadaptation auf (Hogg & Chakravarthy, 2006; Owsley, 2011). Frühe Indikatoren sind weiterhin eine reduzierte Kontrastempfindlichkeit bei der Darbietung mittelfrequenter, dynamischer Testreize (z.B. Elliott, Patel & Whitaker, 2001; Midena, Degli Angeli, Blarzino, Valenti & Segato, 1997) sowie Defizite beim Unterscheiden von Blau und Gelb (Tritanschwäche: z.B. Cheng & Vingrys, 1993). Weiterhin scheint ein breiter Konsens darüber zu bestehen, dass eine erhöhte Blendempfindlichkeit indikativ für die Entwicklung einer AMD, insbesondere der neovaskulären Form ist. Tabelle 2.2 (S. 17) gibt einen Überblick über sich verändernde visuelle Funktionen unter Bedingungen einer frühen und einer fortgeschrittenen AMD. Auch hier sei darauf verwiesen, dass diese Zusammenschau keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Die Unterteilung *früh* versus *fortgeschritten* (bzw. *spät*) in Tabelle 2.2 sei hier in Anlehnung an die entsprechend zitierte Literatur gewählt. Die Unterteilungen divergieren zwischen den verschiedenen Studien. Häufig wurden morphologische Veränderungen zur Klassifikation benutzt, welche im internationalen Klassifizierungssystem von Bird et al. (1995) detailliert beschrieben wurden.

### 2.3.2 Veränderungen von Alltagsaktivitäten

#### Normale Alterungserscheinungen

Eng verknüpft mit den oben genannten Einschränkungen der visuellen Funktionen verändern sich Alltagsaktivitäten mit dem zunehmenden Alter (Owsley et al., 2001). Tabelle 2.1 (S. 14) illustriert einige dieser Zusammenhänge. Forschungsergebnisse weisen vermehrt auf vielfältige Probleme beim Autofahren (bei viel Verkehr; in der Nacht z.B. Kline et al., 1992; Marmeleira et al., 2007; Sekuler, Bennett & Mamelak, 2000), beim Lesen (z.B. Kosnik et al., 1988) sowie auf ein erhöhtes Risiko für Stürze hin (z.B. Lord, 2006; McMurdo & Gaskell, 1991).

**Tabelle 2.2.:**
Veränderung der Sehfähigkeiten unter Bedingungen einer AMD

| Veränderung der Sehfunktion | Ursache[a] | Stadium der AMD[b] | Verschlechterungsgrad[c] | Beeinträchtigungen im Alltag | Quellen |
|---|---|---|---|---|---|
| verringerte Kontrastsensitivität; vermehrter Lichtbedarf; größere interokulare Streuung | frühe metabolische Veränderungen in der Choriokapillaris und der Bruch'schen Membran | frühe AMD | mittlere Frequenzen: .3–.5[d] (Prädiktor für die Entwicklung einer feuchten AMD); Ortsfrequenz: 1.67[d] | Reduktion der Lesegeschwindigkeit: normal alt: 106[e]; AMD: 70–75[e]; Wahrnehmung von Kanten und Gesichtern | 1–7 |
| verzögerte Blenderholung | abgeschwächte methabolische Prozesse im RPE | frühe AMD | normale Ältere: 18 s; AMD: 59.2 s; Erholung verlängert sich mit Progress der AMD (Indikator für feuchte AMD) | Autofahren bei Nacht; Probleme bei Lichtwechsel | 4,7,8,9 |
| verzögerte Dunkeladaptation | Degeneration von Stäbchen; verlangsamte Rhodopsin-Regeneration | frühe AMD | normale Ältere: 36.4 s; frühe AMD: 48.8 s; späte AMD: 69.8 s | Autofahren bei Nacht; Fallrisiko | 4,7,9, 10,11 |
| Verminderung der Sehschärfe | Degeneration von Rezeptoren | frühe AMD | Fern-Sehschärfe: frühe AMD: 2 Buchstabenreihen auf der Snellen-Tafel; späte AMD: 7 Buchstabenreihen | kein guter Prädiktor für Alltagsaktivitäten (trotz häufiger Verwendung) | 4,12 |

**Tabelle 2.2.:**
Veränderung der Sehfähigkeiten unter Bedingungen des normalen Alterns (Fortsetzung)

| Veränderung der Sehfunktion | Ursache[a] | Stadium der AMD[b] | Verschlechterungsgrad[c] | Beeinträchtigungen im Alltag | Quellen |
|---|---|---|---|---|---|
| Einengung des Gesichtsfeldes | | | Leuchtunterschiedsempfindlichkeit im zentralen Gesichtsfeld: normale Ältere: 29.58 dB; frühe AMD: 26.85 dB; Ausweitung mit Progress der AMD | | 5,7,13 |
| schlechtere Farbwahrnehmung | Degeneration der Zapfen; frühe AMD: Zapfen speziell für kurze Wellenlängen | frühe AMD (Früherkennungsmerkmal) | frühe AMD: Blau-Gelb-Sehen; späte AMD: zusätzlich Rot-Grün Sehen | | 4,7,13 |

[a]Ursache für zusätzliche (zum Alter) Auffälligkeiten; [b]Heterogenität der Klassifikationscharakteristika beachten
[c]im Vergleich zu gleichaltrigen Normalsichtigen; [d]Log-Einheiten: c/deg (siehe oben); [e]wpm (Wörter pro Minute)
[1]Arundale, 1978; [2]Crossland, Culham & Rubin, 2004; [3]Elliott et al., 2001; [4]Hogg & Chakravarthy, 2006;
[5]Legge, Ahn, Klitz & Luebker, 1997; [6]Midena et al., 1997; [7]Neelam et al., 2009; [8]Phipps, Guymer & Vingrys, 2003;
[9]Scilley et al., 2002; [10]Feigl, Brown, Lovie-Kitchin & Swann, 2005; [11]Haimovici, Owens, Fitzke & Bird, 2002;
[12]Klein, Wang, Klein, Moss & Meuer, 1995; [13]Cheng & Vingrys, 1993

#### Erscheinungen bei AMD Patienten

In einer großanglegten Querschnittsstudie wurden 92 AMD Patienten im Frühstadium sowie 55 alters-angepasste Normalsichtige mit der *Activities of Daily Vision Scale* (*ADVS*) befragt (Scilley et al., 2002). Der Gesamtwert der Skala betrug 97–100 Punkte für die Normalsichtigen, 81–93 für die AMD Patienten im Frühstadium, deren besseres Auge eine Sehschärfe von mindestens 20/60 (Erklärung siehe Abschnitt 2.6, S. 19) aufwies, und 58–83 Punkte für die AMD Patienten im Frühstadium, deren Sehschärfe des besseren Auges schlechter als 20/60 war. Genauer betrachtet, berichteten die AMD Patienten, deren zweites (besseres) Auge noch nicht so stark betroffen war, größere Schwierigkeiten beim nächtlichen Autofahren, beim Sehen von nahen Dingen sowie bei der Blenderholung als die alters-angeglichenen Normalsichtigen. Die schon schwerer betroffenen AMD Patienten berichteten stärkere Beeinträchtigungen auf jeder Subskala im Vergleich zu den gleichaltrigen Normalsichtigen. Die Subskalen sind der oben angeführten Literatur zu entnehmen.

### 2.3.3 Veränderungen des Fixationsverhaltens

Weitere wichtige Veränderungen betreffen das Fixationsverhalten. Die Veränderungen der Augenbewegungen werden in Kapitel 3 ausführlich dargestellt. Hier sei nur knapp erwähnt, dass AMD Patienten mit retinal exzentrischen Referenzpunkten Objekte fixieren. Diese neuen Referenzpunkte werden als *Pseudofovea* oder *preferred retinal locus* kurz *PRL* bezeichnet (z.B. Déruaz, Safran, Sutter & Müri, 2008).

## 2.4 Prävalenz

Etwa 20% der 65- bis 74- Jährigen und 35% der 75- bis 84- Jährigen leiden an einer Frühform. Vom Endstadium sind circa 1% der 65- bis 74- Jährigen und 5% der 75- bis 84-Jährigen betroffen. Damit lag die Anzahl der AMD Patienten in Deutschland 2012 bei rund 1.6 Millionen. Die AMD zählt mit einem Anteil von 49.8% als häufigste Ursache für Erblindungen in Deutschland. Die Anzahl der Erblindungen (Visus 0.02 oder schlechter) durch eine AMD beträgt circa 5000 pro Jahr. Aufgrund der demografischen Entwicklung ist damit zu rechnen, dass die Prävalenz deutlich steigen wird. Für das Jahr 2030 werden circa 2.13 Millionen Fälle geschätzt (Wolfram & Pfeiffer, 2014).

## 2.5 Risikofaktoren

Die AMD resultiert aus einem Zusammenspiel von *genetischen Faktoren* und *Umwelteinflüssen*. Die Makula scheint besonders vulnerabel für bestimmte systemische Veränderungen biochemischer Prozesse zu sein (Eter, 2009). Durch ihre anatomischen Besonderheiten ist die Makula anfällig für *altersbedingte* Veränderungen und *oxidativen Stress*, welcher durch *ungesättigte Fettsäuren*, *Sonnenlichtexposition*, *Rauchen* sowie *Lipofuszin* insbesondere an der Bruch'schen Membran und den RPE-Zellen entstehen kann. Zuletzt wurden ebenso Bluthochdruck, Diabetis, kardio-vaskuläre Erkrankungen sowie eine *vitaminarme Ernährung* vereinzelt als vulnerabilitätssteigernd berichtet. Sie gelten aber nicht als gesicherte Risikofaktoren (Chakravarthy et al., 2010; Eter, 2009).

## 2.6 Diagnosemethoden

Es gibt eine Reihe von Diagnosemethoden, welche in der Augenheilkunde eingesetzt werden, um eine AMD festzustellen. An dieser Stelle werden nur die Begriffe eingeführt, die später bei der Beschreibung der Patientenstichprobe in den Experimenten 3 und 4 Verwendung finden.

### 2.6.1 Diagnostik funktioneller Veränderungen

Bei der Untersuchung von Funktionsverlusten der Netzhaut lassen sich Methoden zur Überprüfung der Sehschärfe und die des Gesichtsfeldes unterscheiden. Klar scheint, dass eine Verschlechterung der *Sehschärfe* (des *Visus*) die Prüfung des *Gesichtsfeldes* beeinflusst und vice versa.
Der Visus wird als Potential des Sehorgans verstanden, Strukturen aus der Umwelt wahrzunehmen und zu erkennen. Operationalisiert wird er allgemein hin als Schwelle der Wahrnehmung von Optotypen (Sehzeichen). Mit anderen Worten: Es wird das Auflösevermögen der Netzhaut untersucht, mit welcher zwei nebeneinander liegende Sehzeichen gerade noch als getrennt wahrgenommen werden. Nach der EN ISO[5] gilt der sogenannte *Landoltring*[6] als Normsehzeichen. Dieser Ring weist eine Lücke auf, welche in verschiedene Richtungen zeigen kann. Benennt der Untersuchte die Richtung der Lücke korrekt, nimmt man an, dass sein Auflösungsvermögen mindestens der Breite der Lücke im Ring entspricht. Das Reziprok dieser Breite des kleinsten erkannten Landoltringes, gemessen in Bogenminuten,

[5] Europäische Norm EN ISO 8596

[6] Eine Zusammenstellung anderer häufig verwendeter Optotypen wie z.B. die Schnellen-Haken oder Sehprobetafeln mit Buchstaben sind bei Bach, Schmitt, Kromeier und Kommerell (2001) zu finden.

wird in der Regel als Maß für die Sehschärfe angegeben. Wie in Tabelle 2.1 (S. 14) deutlich wird, muss sein Funktionsverlust in Relation zu Altersnormwerten beurteilt werden.
Das Gesichtsfeld beschreibt alle visuellen Punkte, die bei einem bewegungslosen Blick wahrgenommen werden können. Die Gesichtsfelddiagnostik misst die räumliche Ausdehnung dieser Wahrnehmung und beurteilt die visuelle Sensitivität einzelner Netzhautareale. Abbildung 2.2 (S. 11, b) verdeutlicht diesen Zusammenhang für gesunde Betrachter (links) und AMD Patienten (rechts). Diese Grafik wurde in Anlehnung an Grafiken einer Präsentation der *Low Vision Stiftung* erstellt (Seidl, 2000). Ab dem 20. Lebensjahr findet sich eine stetige Abnahme der Empfindlichkeit um ca. 1 Dezibel (dB; Erklärung der Einheit siehe Anhang A) pro Jahrzehnt (Kozich, 2010). Für die Gesichtsfelddiagnostik werden sogenannte *Perimetrieverfahren* eingesetzt. Reize werden dabei entweder auf einem Bildschirm präsentiert (z.B. Goldmann Perimetrie) oder direkt auf dem Augenhintergrund dargeboten (funduskontrollierte Verfahren mit einem *Scanning- Laser- Ophthalmoskop*; *SLO*: Rohrschneider & Bültmann, 2001). Dabei werden insbesondere die Lage, die Form und die Größe des defekten Gesichtsfeldes (Skotoms) bestimmt. Tabelle 2.3 (S. 20) verdeutlicht durchschnittliche Skotomgrößen, ermittelt mit dem SLO-Verfahren, von AMD Patienten in vier Studien (Cheung & Legge, 2005).

**Tabelle 2.3.:**
Größe von Zentralskotomen ermittelt mit dem SLO

| Quelle | Stichprobengröße | mittlerer Durchmesser |
|---|---|---|
| Déuaz et al. (2002) | 5 Patienten | 11° |
| Guez et al. (1993) | 24 Patienten | 10.3° |
| Hassan et al. (2002) | 21 Patienten | 14.8° |
| Schuchard et al. (1999) | 255 Patienten | horizontal: 21.8°; vertikal: 17.9° |

° Grad visueller Sehwinkel
Die Tabelle wurde nach Cheung und Legge (2005, S.30) adaptiert.

Der *mittlere Defekt*, die *Verlustvarianz* sowie der *Zuverlässigkeitsfaktor* sind weitere wichtige Maßeinheiten von Perimetrieverfahren (Kozich, 2010). Der *mittlere Defekt* er-

gibt sich als Mittelwert der erhobenen Differenzwerte. Werte zwischen 2 dB und -2 dB werden als Normbereich angegeben. Die *Verlustvarianz* charakterisiert die Verteilung der Differenzwerte um den *mittleren Defekt*. Werte zwischen 0 $dB^2$ und 6 $dB^2$ werden als normal bezeichnet. Der *Zuverlässigkeitsfaktor* gilt einerseits als Maß für die Teilnahmebereitschaft des Untersuchten und andererseits als Maß für seine Antworttendenz. Um dieses Maß zu erhalten werden Stimuli im blinden Fleck oder deutlich sichtbare Stimuli zwischen schwer wahrnehmbaren Testreizen appliziert, um somit sowohl falsch-positive Antworten als auch falsch-negative Antworten ermitteln zu können. Messungen mit einem Zuverlässigkeitsfaktor zwischen 0% und 15% gelten als zuverlässig (Kozich, 2010).

## 2.7 Therapie-, Rehabilitations- und Trainingsprogramme

Eine Heilung der AMD Erkrankung ist nach heutigen medizinischen Standards nicht möglich. Dennoch gibt es verschiedene Programme, welche den Progress der Krankheit verzögern (*Therapie*), die Hilfsmittel für Patienten zur Verfügung stellen (*Rehabilitation*) oder Strategien lehren (*Training*), die den Umgang mit den Einschränkungen erleichtern. Für den interessierten Leser liefert Anhang B detaillierte Informationen zu verschiedenen Programmen.

## 2.8 Resümee für die vorliegende Arbeit

Resümierend kann festgestellt werden, dass die altersbedingte Makuladegeneration ein ernstzunehmendes Problem für ältere Menschen darstellt. Da das zentrale Sehen eingeschränkt oder defekt ist, bringt eine AMD Einschränkungen in vielen Lebensbereichen mit sich. Momentan kann noch keine medizinische Heilung in Aussicht gestellt werden. Daher gibt es eine Vielzahl von Forschungsvorstößen, die Strategien ergründen, einen individuellen Umgang mit der Erkrankung zu finden. In der vorliegenden Arbeit werden Blickbewegungen und damit zusammenhängende Aufmerksamkeitsstrategien eingehender untersucht.

### Abkürzungen

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

MD: Makuladegeneration

RPE: retinales Pigmentepithel

PRL: preferred retinal locus

SLO: Scanning-Laser-Ophthalmoskop

# 3

# Augenbewegungen in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition, dem Alter sowie eines zentralen Sehverlustes

*Overall it appears that, in patients with central scotomas, apparent fixation instability is composed of different types of eye movements, including saccades performed to change the fixation point, saccades shifting the image from the non-functioning fovea to the new eccentric PRL, saccades used to switch between PRLs, and fixation related eye movements described here apparently intended to counteract the fading process. Other movements of unknown function might also occur.* (Déruaz et al., 2004, S.463)


**Zusammenfassung**

Normalerweise werden Objekte im menschlichen Auge mit der Fovea fixiert, jenem retinalen Gebiet, welches anatomisch und funktional bedeutungsvolle Besonderheiten aufweist (vgl. Kapitel 2). Da dieses retinale Gebiet bei AMD Patienten teilweise oder vollständig degeneriert ist bzw. der Blick von Skotomen begleitet wird, verändert sich das Blick- und Fixationsverhalten der Betroffenen. Im vorliegenden dritten Kapitel werden diese Veränderungen der Augenbewegungen bei einer AMD expliziert und normalen altersbedingten Veränderungen gegenübergestellt. Darüber hinaus werden Ergebnisse aus monokular durchgeführten Studien zu Resultaten aus binokular realisierten Studien kontrastiert.

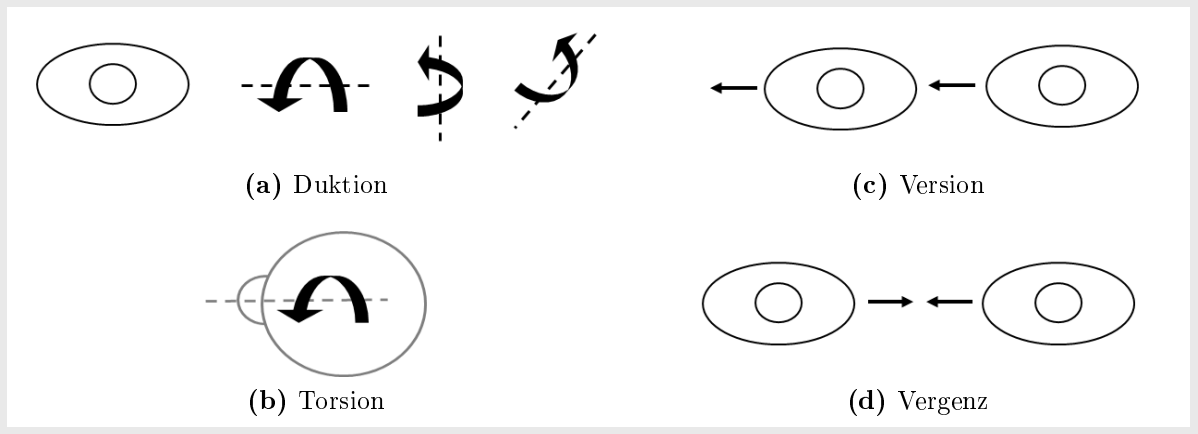


**Schlüsselwörter**

Augenbewegungsparameter, retinale Position, Alter, AMD

## 3.1 Die Anatomie und Funktionsweise von Augenbewegungen

Unter *Okulomotorik* versteht man die Gesamtheit der Bewegungen, welche die Augäpfel (*Bulbi oculi*) ausführen können. Da die Bewegung der Augen ein motorisch und neuronal komplexer Vorgang ist, kann dieser hier nicht näher ausgeführt werden. Es sei lediglich erwähnt, dass bei einer ruhigen Kopf- und Körperhaltung ein menschliches Auge einen maximalen Wirkradius (monokulares Blickfeld) von 45° (vertikal, superior), 60° (vertikal, inferior) und je 50° (horizontal) aufweist. Es können die folgende Augenbewegungen voneinander differenziert werden (vgl. Abbildung 3.1, S. Abbildung 3.1): *Duktionen* (a) nennt man die Drehbewegungen eines einzelnen Auges um einen horizontalen, vertikalen oder schrägen Meridian. Mit *Torsion* (b) werden Rollbewegungen um die Sagitalachse bezeichnet. *Versionen* (c) beschreiben gleichsinnige Augenbewegungen (unter anderem Sakkaden), wohingegen *Vergenzen* (d) gegensinnige Bewegungen der Augen kennzeichnen (Schreiber, 1999). In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff *Augenbewegung* im Sinne von *Versionen* gebraucht. Andere Bewegungsarten werden nicht näher betrachtet.



**(a)** Duktion **(c)** Version **(b)** Torsion **(d)** Vergenz

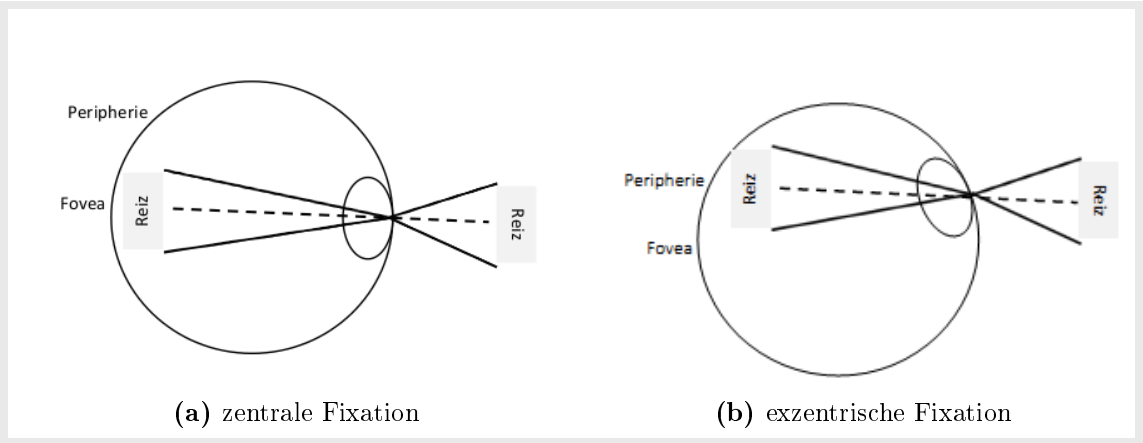
**Abbildung 3.1.:** Diese Abbildung illustriert die Bewegungsmöglichkeiten der Augäpfel. Die Pfeile repräsentieren die Bewegung um die im Text beschriebenen Achsen (gestrichelte Linie).

## 3.2 Parameter der Augenbewegungen

Mit Sakkaden werden die Bewegungen beschrieben, welche den Blick in Sprüngen über die sichtbare Szene wandern lassen. Die Aufnahme von Informationen findet während sogenannten *Fixationen* statt, welche die sakkadischen Bewegungen unterbrechen und durch einen *relativen* Stillstand der Augen gekennzeichnet sind. In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, welche Charakteristika Sakkaden und Fixationen bei Normalsichtigen aufweisen, wie sich diese in Abhängigkeit von der retinalen Position und dem Alter verändern und welche Adaptationen beim Vorliegen eines zentralen Sehverlustes (zSV) eintreten. Dabei wird auf die Parameter fokussiert, die zentral in der vorliegenden Arbeit sind.

### 3.2.1 Fixationen und Fixationsstabilität

Der Begriff „Fixation“ bezeichnet den „Stillstand“ der Augen auf einer visuellen Szene. Wenn Reize auf die Fovea centralis treffen, nennt man das eine zentrale Fixation. Normalsichtige Betrachter fixieren üblicherweise zentral und empfinden Reize, welche auf der Geraden zwischen Fixationsobjekt und Fovea (*Gesichtslinie*) liegen als geradeaus (vgl. Abbildung 3.2, S. Abbildung 3.2, a). Zentrale Fixationen stellen also den Normalzustand beim Betrachten einer visuellen Szene dar (Déruaz et al., 2008).




**(a)** zentrale Fixation **(b)** exzentrische Fixation

**Abbildung 3.2.:** a) Diese Grafik veranschaulicht das foveale Fixationsprinzip. Die Gesichtslinie (gestrichelte Linie) wird hier als geradeaus empfunden. b) Hier wird eine exzentrische Fixation illustriert. Die Gesichtslinie wird in dem Fall nicht als geradeaus empfunden.

Die *Dauer* und *Anzahl* von Fixationen sowie deren *Stabilität* gelten als wichtige Verweil-Parameter. Die *Fixationsdauer* variiert je nach Tätigkeit. Rayner (1998) fasste aus ver-

schiedenen Quellen einige Zeiten zusammen, welche hier in Tabelle 3.1 dargestellt sind. Die Dauer des *vermeintlichen* Blickstillstandes wird mit einer kognitiven *Verweildauer*, im Sinne der Zeit, die benötigt wird, um die entsprechende Informationseinheit[1] zu verarbeiten, assoziiert (Deubel, Schneider & Bridgeman, 1996; Findlay & Gilchrist, 2003; Hoffman & Subramaniam, 1995; Wienrich, Heße & Müller-Plath, 2009). Daher beeinflusst ebenso die konzeptuelle Schwierigkeit, welche mit dem Fixationsobjekt verknüpft ist, die Fixationsdauer (Hooge & Erkelens, 1996, 1998; Moffitt, 1980; Näsänen, Ojanpää & Kojo, 2001; Rayner, 1998; Vlaskamp, Over & Hooge, 2005). Die *Fixationsanzahl* erscheint natürlich nur unter der Festsetzung der Anzahl von Fixationsobjekten oder der Betrachtungszeit sinnvoll und kann somit nicht auf einen allgemeingültigen Wert festgeschrieben werden. Im Folgenden wird lediglich die Fixationsstabilität genauer betrachtet.

**Tabelle 3.1.:**
Fixationsdauern und Sakkadenamplituden in verschiedenen Aufgaben

| Aufgabe | mittlere Fixationsdauer (ms) | mittlere Sakkadenamplitude (°) |
|---|---|---|
| leises Lesen | 225 | 2 (8 Buchstaben) |
| lautes Lesen | 275 | 1.5 (6 Buchstaben) |
| visuelle Suche | 275 | 3 |
| Bildwahrnehmung | 330 | 4 |
| Noten lesen | 375 | 1 |
| Schreiben | 400 | 1 (4 Buchstaben) |

Entnommen und verändert aus Rayner (1998, S.2).

[1] Informationseinheit wurde hier stellvertretend für jegliche Entitäten gewählt, auf die sich die menschliche Blickbewegung richten kann. Damit können unter anderen Objekte, Buchstaben, Bilder sowie komplexe Szenen bezeichnet sein.

Die **Fixationsstabilität** gilt als wichtiger Parameter bei der Beschreibung von Augenbewegungen, obschon es einen Stillstand der Augen, ergo einen Zustand der absoluten Stabilität, im menschlichen Auge nicht gibt. Fixationen werden von sogenannten Mikrobewegungen des Auges begleitet – *Tremor* (*Nystagmus*), *Drift* und *Mikrosakkaden*. Mit *Tremor* wird die kleinste dieser Mikrobewegungen beschrieben, welche sich als sehr schnelle und kleine Schwingung (circa 90 Hz) präsentiert (Martinez-Conde, Macknik & Hubel, 2004). Mit *Drift* werden langsame, kurvige Gleitbewegungen, welche zwischen Mikrosakkaden auftreten, bezeichnet (Martinez-Conde, Macknik, Troncoso & Hubel, 2009). *Mikrosakkaden* stellen die größten und schnellsten dieser Mikrobewegungen dar (Engbert & Mergenthaler, 2006; Martinez-Conde et al., 2004). Für die im vorliegenden Kapitel diskutierte Thematik der Veränderungen des Fixationsverhaltens von AMD Patienten sind vorwiegend Mikrosakkaden interessant. Der Terminus selbst offenbart Gemeinsamkeiten mit Sakkaden (Abschnitt 3.2.3). Mikrosakkaden und Sakkaden verlaufen nach dem heutigen Verständnis in einem Kontinuum, in dem Bewegungen mit einer Amplitude bis zu 1° und einer Geschwindigkeit bis zu 40°/s als Mikrosakkaden bezeichnet werden (Martinez-Conde et al., 2009). Als Sakkaden werden dann alle größeren und schnelleren Bewegungen definiert. Zudem treten Mikrosakkaden als unwillkürliche Bewegungen auf, während man versucht, eine Informationseinheit zu fixieren. Sie werden daher auch häufig als *Fixationssakkaden* etikettiert. Sakkaden hingegen gelten als willkürliche Versionen von einer Informationseinheit zur nächsten.

Die Rolle von Mikrosakkaden konnte bisher nicht vollständig entschlüsselt werden (für einen ausführlichen, wenn auch nicht ganz aktuellen Überblick siehe Martinez-Conde et al., 2004). Übereinstimmend scheinen die Meinungen darüber zu sein, dass Mikrobewegungen während einer Fixation dazu beitragen, dem Ausbleichen der Photorezeptoren entgegenzuwirken und somit das retinale Bild mit einer gewissen Sehschärfe zu erhalten. Durch die beständigen kleinen Bewegungen verschiebt sich das retinale Abbild stets minimal, das heißt die einfallenden Lichtwellen verändern sich, so dass die Photorezeptoren immerfort einen *neuen* Reiz zum Feuern erhalten. In fovealen Bereichen werden Geschwindigkeiten bis 2.5°/s als optimal für den eben beschriebenen Mechanismus angegeben (Bex, Dakin & Simmers, 2003; Macedo, Crossland & Rubin, 2011). Geschwindigkeiten, die darüber hinaus gehen, tragen nicht weiter zu einer Verbesserung der Sehschärfe bei und rufen negative Effekte hervor (Falkenberg, Rubin & Bex, 2007; McMahon, Hansen & Viana, 1991). Im Gegensatz dazu ist allerdings die Frage, inwiefern Mikrosakkaden kontrolliert nach Driftbewegungen (Engbert & Mergenthaler, 2006) oder unkontrolliert im Sinne eines okulomotorischen Fehlers auftreten, ungeklärt (Macedo et al., 2011). Es gab schon recht früh Annahmen darüber, dass Mikrosakkaden initiiert werden, um die Driftbewegungen auszugleichen und damit das retinale Bild zu stabilisieren (Yarbus & Rigg, 1967). Aller-

dings konnten korrelative Studien keinen Zusammenhang zwischen Driftbewegungen und Mikrosakkaden feststellen (Engbert & Kliegl, 2004). Engbert und Mergenthaler (2006) führten eine Studie durch, in der sie erforschten, ob die Generierung von Mikrosakkaden einem stochastischen Prozess unterliegt oder in Reaktion auf eine geringe Bewegung des retinalen Bildes, den sogenannten *retinal low image slip*, erzeugt werden. Unter Verwendung der sogenannten *Box-Count-Methode*[2] verglichen die Autoren die Größe des *image slip* vor dem Einsetzen einer Mikrosakkade von simulierten Daten mit den Originaldaten der Versuchspersonen. Die simulierten Daten wurden durch Randomisierung der betrachteten Zeitfenster während einer Fixation erzeugt und sollten somit keinerlei Zusammenhänge zu perzeptuellen Phänomenen (wie den *image slip* aufweisen). Interessanterweise zeigten die Originaldaten im Gegensatz zu den randomisierten Daten einen signifikanten Abfall des *image slips* 300–400 ms vor dem Einsetzen einer Mikrosakkade. Engbert und Mergenthaler (2006) konkludierten, dass Mikrosakkaden nicht zufällig, sondern genau dann generiert werden, wenn die Bewegung des retinalen Bildes gering ist. Dieses Ergebnis stützt die Annahme, dass Mikrosakkaden kontrolliert nach Driftbewegungen auftreten.

### Fixationen und Fixationsstabilität in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition

Gewöhnlich führen wir Sakkaden nicht so aus, dass Informationseinheiten exzentrisch fixiert werden. Daher kann man dieses Verhalten nur näher betrachten, wenn man diese Situation für Beobachter künstlich herstellt. Eine Möglichkeit dies zu erreichen, ist die Anwendung des sogenannten *Moving-Window-Paradigm*. Diese Methode erlaubt es, dem Betrachter blickkontingent ausgewählte Bildausschnitte in verschiedenen retinalen Exzentrizitäten zu präsentieren. Fornos, Sommerhalder, Rappaz, Pelizzone und Safran (2006) setzten das *Moving-Window-Paradigm* in einer Lesestudie ein. Die Autoren trainierten normalsichtige jungen Probanden 55–68 Stunden darauf, mit retinal exzentrischen Arealen (15°) zu lesen und beobachten verschiedene Augenbewegungsmaße. Grundsätzlich berichteten die Autoren, dass sich die exzentrischen Charakteristika des Leseverhaltens nach einer gewissen Übungszeit von den fovealen kaum unterschieden. Die Probanden waren demnach in der Lage, sich auf die periphere Lesesituation einzustellen und ihre Okulomotorik an diese anzupassen.
Die Stabilität von Fixationen (gemessen mit Mikrosakkaden) nimmt in der retinalen Peripherie ab (Rayner, 1998, S.382). Ähnlich wie bei zentralen Fixationen beschrieb Troxler (1804) ein Verblassen von Bildern in der Peripherie (zitiert nach Büttner, 2013).

[2]Bei der *Box-Count-Methode* werden Quadrate eines bestimmten Ausmaßes (z.B. 0.01°) über den Blickbewegungspfad während einer Fixation gelegt. Die Anzahl der Quadrate, die innerhalb eines bestimmten Zeitfensters (z.B. 50 ms) von dem Blickbewegungspfad durchquert wird, gibt das Ausmaß der retinalen Bewegung (*image slips*) wieder (Engbert & Mergenthaler, 2006).

Dieses Phänomen wurde als *Troxler Effekt* bekannt. Hier scheinen Mikrosakkaden mit Geschwindigkeiten bis zu 2.5°/s nicht auszureichen, um das Ausbleichen zu verhindern. Für die retinale Peripherie werden 10°/s als optimal berichtet. Auch experimentell lassen sich Befunde finden, dass eine gewisse Instabilität zu einer Verbesserung der peripheren Wahrnehmung beitragen kann. Déruaz et al. (2004) zeigten, dass sich das Erkennen eines exzentrisch (7°) dargebotenen Buchstabens verbesserte, wenn die Probanden ihre Fixationsinstabilität erhöhten. Kritisch möchte ich hier jedoch anmerken, dass Déruaz et al. (2004) entgegen den eigenen Angaben vielmehr sakkadische Augenbewegungen denn Mikrobewegungen des Auges untersuchten, da die Punkte, welche abwechselnd fixiert werden sollten (Operationalisierung der Fixationsinstabilität) 10° voneinander entfernt waren.

### Das Fixationsverhalten und -stabilität älterer Betrachter

Bejahrte normalsichtige Betrachter scheinen stärker auf die foveale Wahrnehmung angewiesen zu sein als Jüngere. Einige Vergleichsstudien konkludierten eine schlechtere periphere Wahrnehmung (Kline, 1994; Whiteside, 1974).
Ältere normalsichtige Betrachter weisen eine ähnliche Fixationsstabilität auf wie jüngere Beobachter (Crossland, Morland, Feely, von dem Hagen & Rubin, 2008; Kosnik, Fikre & Sekuler, 1986; Kosnik et al., 1987). Kosnik und Kollegen beobachten in ihren frühen Studien ähnliche bivariate Streuungen des Blickes für ältere (mittleres Alter 69.9 Jahre) und jüngere (mittleres Alter: 22 Jahre) Probanden. Sie konnten lediglich tendenziell einen Unterschied bezüglich der Dispersion des Blickes auf dem horizontalen Meridian feststellen, welche unter den bejahrten Teilnehmern stärker ausgeprägt war. Auch in einer neueren Studie, in welcher die Fixationsstabilität sowohl mit klassischen *Punkt-Targets* als auch mit *dynamischen* Stimuli gemessen wurde, fanden sich keine altersabhängigen Unterschiede (Crossland et al., 2008).

### Das Fixationsverhalten und -stabilität mit Zentralskotomen

#### Die Ausbildung eines *preferred retinal locus* (*PRL*)

Generell sei darauf hingewiesen, dass unter diesem und folgende ähnliche Abschnitte zwei Gruppen fallen. Auf der einen Seite sind Beobachter mit natürlich entstandenen Zentralskotomen (z.B. AMD Patienten) gemeint. Auf der anderen Seite zählen ebenso Betrachter mit simulierten Zentralskotomen darunter. Die Ergebnisse, gewonnen aus diesen beiden Gruppen, wurden jeweils zusammengefasst, damit der Leser einen Gesamteindruck gewinnen kann, wie sich ein zentraler Sehverlust (zSV) auf die jeweiligen Parameter auswirken kann. Eine 1:1 Vergleichbarkeit kann selbstverständlich nicht hergestellt werden.

Zentral fixierte Objekte werden normalerweise vom visuellen Feld in die Fovea centralis projiziert (Déruaz et al., 2008). Die foveale Degeneration bei einer AMD bewirkt, dass dieser Fixationsmechanismus ineffektiv wird. Seit der ersten Erwähnung durch von Noorden und Mackensen (1962) gab es zahlreiche Untersuchungen dazu, wie sich das okulomotorische Fixationsverhalten an zentrale Skotome adaptiert (z.B. Crossland, Culham, Kabanarou & Rubin, 2005; Duret, Issenhuth & Safran, 1999; Déruaz et al., 2004; Hogg & Chakravarthy, 2006). Objekte, welche ursprünglich zentral (foveal) fixiert wurden, fallen nun auf andere Referenzpunkten intakter Bereiche der Retina. Intakte retinale *loci* sind bei AMD Patienten außerhalb des zentralen Skotoms zu finden und somit exzentrisch zu verorten. Diese exzentrischen Referenzpunkte dienen als neue Fovea und werden als *Pseudofovea* oder als *preferred retinal locus* (*PRL*) bezeichnet (vgl. Abbildung 3.2, S.25, b). Ich möchte darauf hinweisen, dass die Begriffe nicht scharf definiert sind. Unklar bleibt bei den meisten Beschreibungen, genaue Angaben darüber wie viel Prozent der Fixationen in diesen alternativen Fixationsort fallen müssen, damit er als solcher definiert wird. Zeitliche Stabilitätskriterien bleiben ebenso verborgen wie die Art bzw. Anzahl der Tätigkeiten, für die er gelten muss. Um in der vorliegenden Arbeit Klarheit zu schaffen, möchte ich mit einem *PRL* die Stelle bezeichnen, mit der in einer aktuellen Situation fixiert wird. *Pseudofovea* soll hier nur dann verwendet werden, wenn eine solche retinal periphere Stelle intra-individuell stabil über einen längeren Zeitraum, zumindest innerhalb einer Aufgabe, verwendet wird. Wenn die Angaben über die Beständigkeit der alternativen Fixationen in der Quelle nicht ersichtlich wurde, habe ich den schwächeren Begriff des PRLs verwendet. 84% der Augen, welche eine stabile zentrale Läsion aufweisen, entwickelten eine Pseudofovea (Déruaz et al., 2008). Bezogen auf die anatomischen und funktionellen Besonderheiten der Retina würde man eine solche Pseudofovea so fovea-nah wie möglich erwarten. Dies konnte mehrheitlich zumindest für die Ausbildung eines PRLs bestätigt werden. Hinsichtlich des Gesichtsfeldes entstehen die meisten PRLs im unteren oder linken Gesichtsfeld (Crossland et al., 2005; Déruaz et al., 2008; Guez, Le Gargasson, Rigaudiere & O'Regan, 1993; Schuchard, 2005).[3] Einige Forschergruppen führten die Ausbildung einer Pseudofovea bevorzugt in bestimmten Gesichtsfeldern auf eine Ungleichverteilung räumlicher Aufmerksamkeit zurück (z.B. Altpeter et al., 2000; Macedo et al., 2011). In der Untersuchung von Altpeter et al. sollten 15 normalsichtige Probanden und 23 Patienten mit verschiedenen Makuladegenerationen ihre Aufmerksamkeit auf einen exzentrischen Hin-

[3] Bei den entsprechenden Angaben der verschiedenen Quellen muss darauf geachtet werden, welcher Referenzrahmen bei den Angaben *oben*, *unten*, *rechts*, *links* gewählt wurde. Alle Werte in der vorliegenden Arbeit sind in dem Bezugsrahmen des visuellen Gesichtsfeldes angeben, das heißt Werte, welche ursprünglich in dem Referenzrahmen von funduskontrollierten Messgeräten (z.B. dem SLO) gemacht wurden, wurden hier entsprechend umkodiert (Altpeter, Mackeben & Trauzettel-Klosinski, 2000).

weisreiz lenken, wobei sie mit ihrem Blick auf dem zentralen Fixationspunkt blieben. Die Autoren stellten fest, dass die Aufmerksamkeit nicht in alle Quadranten des visuellen Feldes gleich verteilt wurde und identifizierten unter allen Probanden drei *Defizit-Gruppen*: a) Defizite im oberen visuellen Feld (Mehrheit aller Untersuchten); b) Einschränkungen im unteren visuellen Feld und c) Einschränkungen in diesen beiden visuellen Feldern. In Bezug auf die Patienten bemerkten sie, dass sich die PRLs in Abhängigkeit von dieser Aufmerksamkeitsverteilung entwickelte. Patienten, die gute Ergebnisse im unteren visuellen Feld zeigten, fixierten vornehmlich unterhalb des Skotoms. Patienten, die in diesem Feld Defizite aufwiesen, manifestierten hingegen ihren PRL vorwiegend links oder rechts von ihrem Skotom. Sie schlussfolgerten, dass alternative Fixationsorte genau in den Bereichen des visuellen Gesichtsfeldes entstünden, in denen die Aufmerksamkeit im Allgemeinen gut hingelenkt werden könne. Neben der Verteilung von Aufmerksamkeit scheint eine Palette weiterer Faktoren, darunter die Lage und das Ausmaß des Skotoms (z.B. Fletcher & Schuchard, 1997), die Testreizkonfiguration (z.B. Lei & Schuchard, 1997) sowie die Anforderung an das visuelle System (Guez et al., 1993; Horwath, 2008; Sunness et al., 1995) die Entwicklung einer Pseudofovea zu prägen (Déruaz et al., 2008; Mackeben, 1999). Inwiefern ein erkranktes Auge *eine* Pseudofovea ausbildet, welcher als Kompromiss zwischen den prägenden Faktoren zu verstehen ist oder ob *multiple* PRLs in einem Auge je nach Dominanz bestimmter Faktoren existieren, wurde bisher nicht einhellig beantwortet. Crossland et al. (2005) eruierten die Anzahl und die Variabilität von PRLs sowie das Bewusstsein über Nutzung alternativer Fixationsorte bei Patienten mit Makuladegeneration in einer Langzeitstudie. Die Mehrheit der AMD Patienten bzw. alle Patienten mit einer JMD (juvenile Makuladegeneration) verloren innerhalb von sechs Monaten bzw. einem Monat das Bewusstsein über die Nutzung ihres PRLs. 36% der Patienten nutzten *einen* PRL und 64% *mutiple* PRLs ($M$ = 1.7; *Spanne* = 1.2 - 3.8) bei einer Fixationsaufgabe. Von den Letztgenannten fixierten 52% mit einer *variablen* PRL-Anzahl im Verlauf des Experiments. Interessanterweise sank die Anzahl an Patienten, die *multiple* und *variable* PRLs benutzten über den Untersuchungszeitraum. Weiterhin stellten die Autoren fest, dass Patienten, welche mit *einem* PRL oder einer festen Anzahl von PRLs fixierten, eine schnellere Lesegeschwindigkeit zeigten als Patienten, die mit *multiplen* oder *variablen* PRLs fixierten. Im Zusammenhang mit früheren Ergebnissen (Crossland et al., 2004) konkludierten sie, dass eine Stabilisierung der Pseudofovea-Nutzung sowie der Fixation die Leseleistung von AMD Patienten verbessern kann. Wenngleich dieser Befund empirische Unterstützung durch andere Arbeitsgruppen erfahren hat (für einen Überblick vergleiche Hogg & Chakravarthy, 2006), möchte ich an dieser Stelle zu bedenken geben, dass das Trainieren auf einen alternativen Fixationsort unter der Wahl einer Aufgabe (hier Lesen) dazu führen könnte, dass die Leistung in einer anderen Aufgabe des alltäglichen Lebens (z.B. visuelle Suche) beeinträchtigt wird. Auf der einen Seite erscheint dieser Einwand

plausibel, wenn man der Annahme folgt, es gäbe verschiedene Pseudofoveas für unterschiedliche Aufgaben. Auf der anderen Seite nutzen Normalsichtige in der Regel auch nur einen Fixationsort, die Fovea, für eine Diversität von Aufgaben. Ferner möchte ich kritisch anmerken, dass Annahmen über die Nutzung und Verortung von Pseudofoveas häufig *indirekt* gemacht werden. Oftmals werden die PRLs während einer Fixationsaufgabe detektiert und davon ausgehend Schlussfolgerungen auf andere Aufgabentypen getroffen. Ob bei den anderen Aufgaben die selben Fixationsorte wie in der Fixationsaufgabe verwendet werden, bleibt indes vielmals ungeprüft und damit unklar. Darüber hinaus kann mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden nicht festgestellt werden, inwiefern sich die alternativen Referenzpunkte unter monokularen versus binokularen Sehsituationen unterscheiden. Auf der einen Seite kann die Messung mit einem SLO nur monokular erfolgen und auf der anderen Seite können Ergebnisse gewonnen aus der Messung der Augenbewegung bei AMD Patienten nicht als valide angenommen werden. Diese Frage wird in Abschnitt 3.3 genauer beleuchtet.

### Fixationsstabilität

Unbestritten weisen AMD Patienten eine erhöhte Fixationsinstabilität (gemessen mit Mikrosakkaden) auf (z.B. Bellmann, Feely, Crossland, Kabanarou & Rubin, 2004; McMahon et al., 1991). Eine interessante Kontroverse findet gegenwärtig hinsichtlich der Frage statt, inwieweit diese erhöhte Instabilität vorteilhaft oder nachteilig für die Patienten ist (Macedo et al., 2011). Auf der einen Seite wird argumentiert, dass eine erhöhte Instabilität während der Fixation dabei dienlich ist, dem oben bereits erwähnten *Troxler Effekt* entgegenzuwirken. Da AMD Patienten retinal exzentrische Bereiche verstärkt nutzen, gerade in diesen Bereichen Reize allerdings recht rasch verblassen (*Troxler Effekt*), erscheint die Annahme nachvollziehbar, dass mehr Mikrobewegungen während einer Fixation notwendig sind, um das retinale Bild stabil zu halten. Dafür finden sich Hinweise in dem Fakt, dass die Mikrobewegungen in der retinalen Peripherie bei Normalsichtigen größer sind als in zentralen Bereichen der Retina (10° versus 2.5°). Wie oben schon angesprochen, konnten Déruaz et al. (2004) zeigen, dass sich das Erkennen eines exzentrisch (7°) dargebotenem Buchstabens verbesserte, wenn die Probanden ihre Fixationsinstabilität erhöhten. Die Autoren simulierten die retinale Exzentrizität und die Größe des peripher dargebotenen Buchstabens in Anlehnung an Patientenberichten und schlussfolgerten daher, dass eine erhöhte Instabilität zuträglich für AMD Patienten sei.
Auf der anderen Seite argumentieren Autoren, dass die erhöhte Fixationsinstabilität bei AMD Patienten einen Fehler der Okulomotorik reflektiert. Macedo et al. (2011) untersuchten, welchen Effekt eine Kompensation der Mikrobewegungen bei AMD Patienten während einer Fixation auf die Sehschärfe hat. Die Sehleistung präsentierte sich unver-

ändert, unabhängig davon, ob die Fixationsinstabilität kompensiert wurde oder nicht. Darüber hinaus berichteten die Autoren, dass eine Überkompensation (Erhöhung der retinalen Bewegung) zu einer Verschlechterung führte. Macedo et al. (2011) konkludierten, dass eine erhöhte Fixationsinstabilität nachteilig für AMD Patienten sei. Unterstützende Befunde stammen von Studien, welche demonstieren konnten, dass Trainings zur Stabilisierung von Fixationen bei AMD Patienten in einer Erhöhung der Lesegeschwindigkeit resultierten (z.B. Crossland et al., 2004; Rubin & Feely, 2009).

Zu welchem Schluss die einzelnen Autoren auch kommen, sie basieren ihre Ergebnisse auf der Annahme, dass die Struktur fovealer Mikrosakkaden sowie die festgestellten Zusammenhänge mit retinalen Bewegungen gleichsam für exzentrische Mikrosakkaden übernommen werden können. Ob diese Annahme tatsächlich zutrifft, untersuchte Mißfeldt (2013) in einer Simulationsstudie, welche im Rahmen der vorliegenden Arbeit entstanden ist. In enger Anlehnung an Engbert und Mergenthaler (2006) nahmen die Probanden an einem Fixationsexperiment teil. Alle absolvierten das Experiment mit drei Skotomstufen - kein Skotom, ein semi-opakes Skotom und ein opakes Skotom. Mißfeldt (2013) stellte zunächst keine strukturellen Unterschiede hinsichtlich der Amplitude und der Geschwindigkeit exzentrischer Mikrosakkaden fest. Ein reduzierter *image slip* vor dem Auftreten einer Mikrosakkade, wie von Engbert und Mergenthaler (2006) berichtet, konnte deskriptiv bestätigt werden, wenn kein Skotom vorhanden war. Wenn ein Skotom dargeboten wurde, zeigte sich ein solcher Effekt nicht. Schlussfolgerungen zum jetzigen Zeitpunkt sind allerdings schwierig, da die Probanden nicht, wie erwartet, erhöhte Mikrosakkadenraten zeigten, wenn sie die Aufgabe mit einem Skotom durchführten, sondern eine erhöhte Anzahl sakkadischer Bewegungen. Dies könnte einerseits darauf zurückzuführen sein, dass die Probanden ungeübt im Umgang mit Skotomen waren und trotz der Anweisung, den Blick still auf das Fixationsobjekt zu halten, versucht haben, das Skotom aktiv beiseite zu schieben. Es könnte andererseits aber auch darauf hindeuten, dass Mikrobewegungen beim exzentrischen Sehen größer und eher mit sakkadischen Bewegungen bei Normalsichtigen vergleichbar sind.
Ferner führen verschiedene Messmethoden zu unterschiedliche Einschätzungen bzgl. der Größe der Fixationsinstabilität (Crossland & Rubin, 2002; Déruaz et al., 2004).

Resümierend bleibt zum jetzigen Zeitpunkt festzustellen, dass AMD Patienten eine erhöhte Fixationsinstabilität aufweisen, wobei die genauen Charakteristika weitgehend unklar sind. Auch wenn es einige Hinweise darauf gibt, dass diese erhöhte Instabilität vorteilhaft sein könnte, sprechen die meisten Befunde momentan eher dafür, dass sie sich nachteilig auf die Wahrnehmungsleistung auswirkt, wobei diese meist nur durch die Lesegeschwindigkeit operationalisiert wurde.

### 3.2.2 Mehrfachfixierungen

Eine Sonderform der Fixation stellen Fixationen auf eine Informationseinheit dar, welche vormals bereits fixiert wurde. Dabei unterscheidet man zwischen jenen, bei denen mindestens eine andere Informationseinheit dazwischen angeschaut wurde und solchen, bei denen ein sofortiges wiederholtes Fixieren zu beobachten ist. Bei den erst benannten spricht man von *Regressionen, Reinspections* oder auch *rekursiven Sakkaden*. Sofortige repetierte Fixationen werden in der Regel als *Refixierungen* oder *korrektive Sakkaden* bezeichnet. Häufig werden diese zwei Formen nicht gesondert behandelt und die Begriffe nicht eindeutig verwendet. Im Verlauf dieser Arbeit sollen Reinspektionen und Refixierungen mit den entsprechenden Definitionen Beachtung finden. Wenn die Zuordnung in den entsprechenden Quellen uneindeutig ist, möchte ich von Mehrfachfixierungen sprechen. Die Ursache solcher Mehrfachfixierungen kann je nach Paradigma variieren. Bei Leseaufgaben werden zu kurze Verarbeitungszeiten während *normalen* Fixationen und damit verbundene Verständnislücken vornehmlich mit dem Auftreten von Regressionen in Verbindung gebracht (Blanchard, 1987; Frazier, Frazier & Rayner, 1982; Vauras, Vauras, Hyona & Niemi, 1992). Refixierungen treten hingegen häufig nach langen Sakkaden auf (Henson, 1978; Rayner, 1998), so dass sie ein Korrektiv für falsch verortete Fixationen verkörpern könnten (Henson, 1979; Rayner, 1998). In der visuellen Suche werden Regressionen mit einem fragmentarischen Gedächtnis an den Suchpfad, aber auch ähnlich wie beim Lesen, mit einer mangelhaften Verarbeitungszeit während der Fixation assoziiert (gedächtnis-geleitete Modelle: Dickinson & Zelinsky, 2005, 2007; Gilchrist & Harvey, 2006; Verarbeitungszeit-Modelle: Peterson, Kramer, Wang, Irwin & McCarley, 2001; Wienrich et al., 2009). Refixierungen werden auch hier im Sinne korrektiver Sakkaden verstanden (Hooge & Erkelens, 1996, 1998), allerdings ebenso mit *Unsicherheit* verbunden (Wienrich et al., 2009). Unsicherheit wurde hier als Ungewissheit darüber definiert, ob der aktuell betrachtete Reiz dem Zielreiz entspricht oder nicht. Auch im folgenden wird der Begriff mit dieser Bedeutung verwendet. Als Maß für Mehrfachfixierungen wird deren Anteil an der Gesamtfixationszahl ermittelt oder die Systematik von Suchpfaden verfolgt. Während des Lesens treten durchschnittlich 10-15% Regressionen auf (Kanonidou, 2011). Für andere Laborparadigmen der experimentellen Psychologie, insbesondere für die visuelle Suche, bleiben quantitative Durchschnittswerte verborgen, da diese von entsprechenden Spezifika der Untersuchung abhängen. Es kann allerdings übereinstimmend festgestellt werden, dass die jeweiligen Raten mit einer Zunahme der konzeptuellen Schwierigkeit steigen und die Systematik der Suchpfade sinkt (Rayner, 1998; Kanonidou, 2011; Wienrich et al., 2009).

### Mehrfachfixierungen in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition

In der Studie von Fornos et al. (2006) zeigten Probanden in einer exzentrischen Lesesituationen zunächst einen Anstieg von Regressionen und Refixierungen. Dieser nahm mit einer zunehmenden Übungszeit und Genauigkeit der Sakkaden jedoch ab. Im Vergleich zu der zentralen Lesebedingung traten in der exzentrischen Bedingung mehr Mehrfachfixierungen auf.

### Mehrfachfixierungen bei älteren Beobachtern

Regressionen treten mit einem zunehmenden Lebensalter gehäuft auf (bei visuellen Suchaufgaben: z.B. Maltz & Shinar, 1999; Veiel, Storandt & Abrams, 2006). Laberge und Scialfa (2005) diskutierten Mehrfachfixierungen zusammenhängend mit einer altersbedingten Abnahme der Kapazität des visuellen Arbeitsgedächtnisses. Autoren, welche eine geringere Sakkadengenauigkeit mit zunehmenden Lebensalter festgestellt haben, berichteten ebenso einen höheren Anteil an Refixierungen bei älteren Beobachtern im Vergleich zu jüngeren Betrachtern (z.B. Sharpe & Zackon, 1987).

### Mehrfachfixierungen mit Zentralskotomen

Es gibt einige Studien, welche Patienten bzw. Probanden mit zSV einschlossen und Mehrfachfixierungen berichten (z.B. Lesen: Bullimore & Bailey, 1995; Objektidentifizierung: Henderson, McClure, Pierce & Schrock, 1997; visuelle Suche: Coeckelbergh, Brouwer, Cornelissen, van Wolffelaar & Kooijman, 2002; Cornelissen, Bruin & Kooijman, 2005). Die Mehrheit dieser Studien schildert eine höhere Rate Mehrfachfixierungen oder unsystematischere Suchpfade (z.B. Bullimore & Bailey, 1995; Cornelissen et al., 2005; Henderson et al., 1997). Dies erscheint unter der Betrachtung der meist gleichbleibenden Fixationsdauern bei Patienten bzw. Probanden mit zSV folgerichtig. Unter der Annahme, dass sich durch die degenerativen Prozesse verschiedene visuelle Parameter verschlechtern (Kapitel 2), könnten die Fixations- und Verarbeitungszeiten zu gering sein, um eine Aufgabe lösen zu können (Cornelissen et al., 2005). Zu kurze Verarbeitungszeiten gelten, wie oben beschrieben, als eine Hauptursache für Mehrfachfixierungen. Eine reduzierte okulomotorische Kontrolle wird ebenfalls als Ursache diskutiert. Unökonomische Suchpfade könnten zum einen ein Zeichen dafür sein, dass AMD Patienten Informationseinheiten zunächst (*reflexartig*) foveal fixieren und korrektive Sakkaden benötigen, um sie dann in den PRL zu verschieben (Hogg & Chakravarthy, 2006). Es gibt allerdings eine Vielzahl von Studien, die Sakkaden, welche in retinal degenerierten (zentralen) Bereichen landen, bei AMD Patienten nicht beobachten konnten (z.B. Coeckelbergh et al., 2002; Timberlake et al., 1986; Whittaker, Cummings & Swieson, 1991). Zum anderen könnten unökonomische

Suchpfade ein Springen zwischen multiplen PRLs ausdrücken (Hogg & Chakravarthy, 2006; McMahon et al., 1991; Safran, Duret, Issenhuth & Mermoud, 1999). Weiterhin wäre eine verstärkte Unsicherheit aufgrund des fragmentieren Bildeindruckes als Ursache für mehr Mehrfachfixierungen denkbar. Coeckelbergh et al. (2002) hingegen argumentieren, dass AMD Patienten durchaus in der Lage sind, okulomotorisch kontrolliert vorzugehen. In einer visuellen Suchaufgabe konnten sie keine Unterschiede zwischen Patienten und Normalsichtigen bzgl. verschiedener Augenbewegungsparamater finden. Sie zeigten sogar eine sinkende Rate der Mehrfachfixierungen für AMD Patienten. Die Autoren interpretierten ihre Ergebnisse im Sinne von Adaptationsprozessen, welche durch die Gewöhnung an die Skotome im Verlauf der Krankheit stattgefunden haben. Patienten mit zentralen Defekten hätten gelernt, initiale Sakkaden, gerichtet in die Fovea sowie schnelle Folgesakkaden (welche eine unzureichende Verarbeitung zur Folge haben könnten, Vgl. Findlay & Gilchrist, 1998) zu unterdrücken. Daher würden sie weniger korrektive Sakkaden bzw. Reinspektionen benötigen. Zu einer ähnlichen Einsicht gelangten auch Timberlake et al. (1987), welche zwar eine erhöhte Fixationsinstablität exzentrischer im Vergleich zu zentralen Fixationen festellten, allerdings keinen Unterschied zwischen AMD Patienten und Normalsichtigen. Darüber hinaus widersprechen ihre Daten der Vermutung, dass korrektive Sakkaden von Nöten seien, um ursprünglich in die Fovea initialisierte Sakkaden in retinal periphere Fixationsorte zu lenken. Sie konkludierten ebenso, dass sich die okulomotorischen Bewegungen der AMD Patienten angepasst haben. Interessanterweise arbeiteten McMahon et al. (1991) heraus, dass sich das Blickverhalten erkrankter Augen womöglich differierend auf die veränderte Sehsituation einstellten (eine genauere Beschreibung findet sich im nächsten Abschnitt).

### 3.2.3 Sakkaden

Während Fixationen maßgeblich für die Aufnahme von Informationen verantwortlich sind, beschreiben Sakkaden die Bewegung der Augen von einer Informationseinheit zur nächsten. Diese Bewegung ist in der Regel aufgrund der in Kapitel 2 beschriebenen Anatomie des Auges notwendig. Da die Sehschärfe mit einer zunehmenden Exzentrizität abnimmt und damit für die Lösung gewisser Aufgaben (z.B. dem Lesen eines Wortes) nicht mehr ausreicht, erfordert es eine Bewegung der Augen, so dass die interessierende Informationseinheit auf foveale retinale Gebiete fallen kann.
Sakkaden werden durch folgende Maße genauer charakterisiert: *Sakkadenlatenz*, *Sakkadenamplitude* sowie *Sakkadendauer* und *Sakkadengeschwindigkeit*. Letztere wird auf bis zu 600° pro Sekunde geschätzt, weshalb Sakkaden auch als *schnelle* Augenbewegungen bezeichnet werden (Rayner, 1998). Die Sakkadendauer variiert je nach Länge der Sakkade und der Aufgabe. So scheint eine Sakkade durchschnittlich 30 ms bei einer Sakkadenlänge

von 2° in einer Leseaufgabe zu benötigen und 40-50 ms bei einer Amplitude von 5° in einer Bildwahrnehmungsaufgabe (Abrams, Meyer & Kornblum, 1989). Auch die Sakkadenamplitude bedingt sich aufgabenspezifisch. Tabelle 3.1 (S. 26) ist von Rayner (1998) entnommen und adaptiert und zeigt unter anderem verschiedene Sakkadenlängen in Abhängigkeit vom Aufgabentypus. Mit Sakkadenlatenz wird die Verzögerung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sakkaden bezeichnet. Sie wird auf 150–175 ms geschätzt. Allerdings sind diese Werte nicht als natürlich gegebene Größen zu verstehen, da sie stark von einer Reihe von Faktoren wie zum Beispiel dem Ort oder dem Ziel der Sakkaden abhängen (für eine genauere Beschreibung siehe Rayner, 1998). Im Folgenden wird lediglich die Sakkadenamplitude genauer betrachtet.

### Sakkadenamplituden in Abhängigkeit von der retinalen Position

Fornos et al. (2006) beobachten in den ersten Sitzungen ihrer Trainings-Lesestudie eine erhöhte Anzahl und Länge vertikaler Sakkaden, welche sie auf den Versuch zurückführten, die Wörter foveal zu fixieren und dann den Blick wieder zurück auf den Bildschirm zu lenken. Im Verlaufe der Sitzungen verschwanden diese großen vertikalen Versionen, einhergehend mit einer Reduzierung korrektiver Sakkaden. Ein gegenläufiger Verlauf zeigte sich bei den horizontalen Augenbewegungen. Deren Amplitude stieg im Laufe des Experiments um circa 2° an. Diesen Anstieg interpretierten Fornos et al. im Sinne einer Anpassung des okulomotorischen Systems an die exzentrische Lesebedingung und weiter als Angleichung an die usuelle foveale Lesesituation, wenngleich Unterschiede zu dieser sichtbar blieben. Die peripheren Sakkaden waren trotz Angleichung mit zunehmender Übungszeit kürzer als die zentralen Sakkaden. Andere Studien zeigten einen Anstieg der Sakkadenamplitude mit einer steigenden Stimulusexzentrizität (z.B. Bell, Everling & Munoz, 2000).

### Sakkadenamplituden bei älteren Beobachtern

Die Genauigkeit von Sakkaden scheint unbeeindruckt vom Alter erhalten zu bleiben (Bono et al., 1996; Moschner & Baloh, 1994; Schieber, 2006; Warabi, Kase & Kato, 1984), wenngleich einige Studien eine Zunahme von hypometrischen Sakkaden berichten (Munoz, Broughton, Goldring & Armstrong, 1998; Sharpe & Zackon, 1987). Die ungleichen Befunde könnten eventuell durch unterschiedliche Testbedingungen hervorgerufen worden sein. Schon Warabi et al. (1984) berichteten, dass ältere Versuchsteilnehmer nur dann ähnlich genaue Sakkaden zeigen, wenn der Abstand zum Zielreiz (hier Stimulus, auf den die jeweilige Sakkade gelenkt werden sollte) kleiner als 20° umfasste. Bei größeren Winkeln, welche durch Sakkaden zu überwinden waren, traten mit zunehmendem Alter systematisch hypometrische Sakkaden auf. Dieser Befund wurde auch in anderen Studien berichtet

(Moschner & Baloh, 1994).
Die maximale Auslenkung von Sakkaden verkleinert sich mit zunehmendem Lebensalter. Huaman und Sharpe (1993) beschreibt eine Reduktion um circa 10° von 43° mit etwa 30 Jahren auf 33° mit etwa 70 Jahren (zitiert nach Schieber, 2006).

### Sakkadenamplituden mit Zentralskotomen

In einer frühen Arbeit widmeten sich Whittaker et al. (1991) der Analyse von Sakkaden bei AMD Patienten. Die Aufgabe der Patienten war es, eine Sakkade auf einen hellen Zielreiz zu richten, welches an einer unerwarteten Position auf einem Computerbildschirm erschien. Um festzustellen, wie genau die Sakkaden ihr Ziel erreichten, wurde die erste Sakkadenamplitude mit der retinalen Distanz zwischen dem Fixationsort und der Fovea bzw. dem PRL verglichen. Whittaker et al. beschrieben die Sakkaden der AMD Patienten schlussfolgernd aus diesen Ergebnissen als *non-foveale Sakkaden*, die durch eine geringere Geschwindigkeit und längere Latenzen im Vergleich zu *fovealen* Sakkaden gekennzeichnet sind. Interessant scheint diese Schlussfolgerung insbesondere unter der weiter oben (Abschnitt 3.2.2, S. 35) geführten Diskussion bzgl. der Mikrosakkaden bei AMD Patienten und der Frage, inwiefern die Struktur dieser Bewegungen mit denen bei Normalsichtigen zu vergleichen ist.

McMahon et al. (1991) analysierten das sakkadische Verhalten von AMD Patienten mit elektro-okulografischen Daten. Sie stellten drei Auffälligkeiten in der sakkadischen Bewegung fest. Einerseits berichteten die Autoren ähnlich wie Whittaker et al. (1991), dass die Sakkaden einiger erkrankter Augen in einem stärkeren Maße zu kurz blieben als die von gesunden Augen. Es gab allerdings ebenso erkrankte Augen, welche ein gegenteiliges Muster aufwiesen (*Überschreitungs-Fehler*). Die Mehrheit der untersuchten sakkadischen Bewegungen der AMD Patienten präsentierte sich in Form von kleinen, ruckartigen Bewegungen. Ähnlich wie in der Diskussion bezüglich einer erhöhten Anzahl von Mehrfachfixierungen (Abschnitt 3.2.2) vermuteten McMahon et al. (1991) unterschiedliche Adaptationen der Okulomotorik an das Skotom. Gezielte Sakkaden und damit der Versuch, den Blick retinal relativ genau zu verorten, könnte die Strategie derer sein, welche zu kurze bzw. zu lange, gleichmäßige Sakkaden aufwiesen. Diese würden mit *einem* alternativen Fixationsort den Blick steuern und dadurch ein ähnliches Blickverhalten zeigen wie foveal fixierende Normalsichtige. Patienten, die hingegen die kleinen, ruckartigen Sakkaden aufwiesen, würden mit *mehreren* PRLs den Blick steuern.

Auch wenn Bertera (1988) zu dem Ergebnis kommt, dass sich die Sakkadenlängen zwischen Kontrollprobanden und Probanden mit simulierten zentralen Skotomen nicht un-

terscheiden, kann man seine Diskussion im Sinne der Schlussfolgerung von Whittaker et al. (1991) deuten. Bertera variierte unter anderem die Dichte der Informationseinheiten. Die Sakkadenlänge war von dieser Variation wider der Erwartung nicht beeinflusst. Er konkludierte, dass ein Großteil der Suchitems peripher verarbeitet wurde und somit das Skotom nicht erst durch Sakkaden *beiseite* geschoben werden musste.

In neueren Untersuchungen zeigten sich die Befunde bezüglich der Sakkaden von Patienten bzw. Probanden mit zSV uneinheitlich. Cornelissen et al. (2005) simulierten verschiedene Skotomgrößen und -dichten. Wenn die Probanden die Aufgabe mit einem semiopaken Skotom bewältigten, zeigten sie ähnliche Sakkadenamplituden wie unter der Bedingung ohne Skotom. Im Gegensatz dazu erhöhten sich die Sakkadenlängen mit einer zunehmenden Skotomgröße unter den Bedingungen eines opaken Skotoms. Dieses Ergebnis konnte unter Verwendung eines anderen Paradigmas von Johnson und Gurnsey (2010) bestätigt werden. Coeckelbergh et al. (2002) hingegen konnte keine Veränderung der Sakkadenamplituden bei AMD Patienten im Vergleich zu normalsichtigen Kontrollprobanden finden. Allerdings sei hier auch nochmal darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse von AMD Patienten und Probanden mit simulierten Skotomen nicht direkt verglichen werden können.

## 3.3 Monokulares versus binokulares Sehen

Dieser Abschnitt wird deutlich machen, dass Ergebnisse, gewonnen aus monokularen Untersuchungssituationen, nicht direkt mit der alltäglichen binokularen Sehsituation verglichen werden können. Diese Erkenntnis bietet eine Begründung, dafür, dass die Experimente dieser Arbeit sowohl bin- also auch monokular durchgeführt wurden. Für alle Leser, die der Vorgehensweise auch ohne nähere Erläuterung folgen, sei dieser Absatz obsolet.

Junge normalsichtige Beobachter profitieren in der Regel von einer binokularen Sehsituation im Vergleich zu einer monokularen. Dieses Phänomen ist als *binokuluare Summation* oder als *binokuluaren Superioritätseffekt* bekannt (z.B. Blake & Fox, 1973; Tarita-Nistor, González, Markowitz & Steinbach, 2006). Je nachdem, welchem Modell zur Erklärung des binokuluaren Superioritätseffekt man folgt, lässt sich dieser Effekt auf eine bis zu 50%-tige Steigerung quantifizieren. Einige Autoren haben den Effekt in einzelnen visuellen Teilbereichen genauer untersucht sowie dessen Abhängigkeit von der retinalen Exzentrizität der Reizdarbietung und vom Alter herausgearbeitet. So wird beispielsweise eine Abnahme der binokularen und monokularen Kontrastsensitivität mit einer zunehmenden Exzentrizität und einem steigendem Alter berichtet (z.B. Gagnon & Kline, 2003;

Pardhan, 1996; Ross, Clarke & Bron, 1985). Weiterhin scheint der Vorteil beim binokularen Sehen unter einem Anstieg der Exzentrizität sowie des Alters abzunehmen.
Der binokulare Superioritätseffekt wird unter der Voraussetzung gleicher Sehleistungen auf beiden Augen angenommen. Die Augen eines AMD Patienten weisen aber weitgehend große interokulare Unterschiede auf. Unter diesem Gesichtspunkt berichteten einige Autoren eine *binokulare Inhibition*, das heißt eine Verschlechterung der Sehleistung unter einer binokularen Sehsituation im Vergleich zu einer monokularen (z.B. Faubert & Overbury, 2000; Quillen, 2001). Als mögliche Ursachen für eine binokulare Inhibition werden ungleiche Skotom- und Belichtungssituationen[4] in den Augen benannt, aber auch verschiedene retinale Fixationsorte beim binokularen versus monokularen Sehen (Tarita-Nistor et al., 2006). Letzteres wirft gerade im Hinblick auf die Ausbildung von PRLs in AMD Patienten die interessante Frage auf, inwiefern sich gleiche oder verschiedene PRLs unter binokuluaren versus monokularen Sehkonditionen ausbilden. Da die Erfassung retinaler Fixationsorte bisher ausschließlich monokular erfolgen kann[5], bleibt eine Erfassung binokularer retinaler Fixationsorte mit bisherigen Methoden der Zukunft vorbehalten und somit die Beantwortung der Frage unverbürgt. Nichtsdestotrotz haben jüngst Autoren das Blickverhalten von AMD Patienten unter binokularen und monokularen Bedingungen und entsprechenden Kontrollen untersucht und Rückschlüsse auf mögliche Unterschiede zwischen binokularen und monokularen retinalen Fixationsorten gezogen. Tarita-Nistor, Brent, Steinbach und González (2011) untersuchten AMD Patienten, deren Augen große interokulare Differenzen aufwiesen, unter einer binokularen sowie zweier monokularen Sehkonditionen (monokulares Sehen mit dem besseren Auge; monokulares Sehen mit dem schlechteren Auge). Sie stellten fest, dass sich die Fixationsstabilität des besseren Auges zwischen den verschiedenen Sehbedingungen nicht unterschied und sich die des schlechteren Auges um 84%–100% unter der binokularen Bedingung verbesserte. Aus diesen Ergebnissen wurde geschlussfolgert, dass sich monokulare Einflüsse, die auf das bessere Auge wirken (z.B. Stabilisierungstrainings für Fixationen), auf das binokulare Sehen übertragen lassen. In einer ähnlichen Studie analysierten Tarita-Nistor, Brent, Steinbach und González (2012) das Blickverhalten von AMD Patienten unter den gleichen Sehbedingungen wie 2011. Sie stellten fest, dass es bei normalsichtigen älteren Probanden im Blickverhalten unter binokularen versus monokularen Konditionen keine Unterschiede gab. Sie legten außerdem dar, dass AMD Patienten eine gute binokulare Koordination aufwiesen. Allerdings zeigten sich Auffälligkeiten, wenn die Bedingung von binokular nach monokular wechselte. Insbesondere für das schlechtere Auge war eine Reduktion der mo-

[4] Bei normalsichtigen Augen als Fechner-Paradoxon bekannt.

[5] Die Erfassung retinaler Fixationsorte erfolgt wie weiter oben erwähnt über Perimetrieverfahren. Sowohl Ergebnisse stammend von funduskontrollierten Verfahren, wie z.B. das SLO, als auch von nicht-funduskontrollierten Verfahren, wie z.B. die Goldmann-Perimetrie werden stets monokular kodiert.

torischen Kontrolle zu beobachten, wenn das bessere Auge zugedeckt wurde. Die Autoren diskutieren ihre Ergebnisse im Hinblick auf die Ausbildung von binokularen und monokularen PRLs. Da sich das Fixationsverhalten des Auges, welches nicht abgedeckt wurde, kaum änderte von der binokuluaren zur monokularen Bedingung, vermuteten sie, dass es keine multiplen PRLs in Abhängigkeit von der Sehsituation gibt. Unter dieser Annahme kontrastierten Tarita-Nistor et al. (2012) zwei Vermutungen. Wenn die Lage eines PRL vom besseren Auge bestimmt wird, könnte er im schlechteren Augen in schon degenerierten Bereichen liegen. Im Gegensatz dazu könnte der PRL aber auch so exzentrisch liegen, dass er in nicht-degenerierte Bereiche des schlechteren Auges fällt. Dann müsste das bessere Auge weiter exzentrisch fixieren als es für das Auge allein genommen notwendig wäre. Denkbar wäre auch, dass die Gleichsinnigkeit der Augenbewegung zugunsten eines Strabismus aufgegeben wird, um korrespondierende Netzhautpunkte in unterschiedlich stark betroffenen Augen herzustellen (Röttingen, 2014; persönliche Kommunikation).
Im Gegensatz dazu lassen andere Ergebnisse heterogene PRLs beim binokularen Sehen vermuten (z.B. Kabanarou et al., 2006; Labianca & Peli, 1996; Schuchard, 2005; Verezen, Hoyng, Meulendijks, Keunen & Klevering, 2011). Divergent fallen allerdings die entsprechenden Interpretationen aus.
Die Arbeitsgruppe um Schuchard kombinierte monokulare SLO-Daten von Patienten mit zentralen Skotomen und fand heraus, dass die PRLs der zwei Augen vor allem dann nicht miteinander korrespondierten, wenn die Augen große Unterschiede hinsichtlich ihrer Sehleistung aufwiesen (Schuchard, 2005). Sie ließen die Patienten zusätzlich eine binokulare psycho-physikalische Aufgabe durchführen und vermuteten aufgrund der Ergebnisse, dass sich ein dominanter PRL herausbilden würde, welcher durch das bessere Auge bestimmt wird. Labianca und Peli (1996) kamen zu ähnlichen Ergebnissen, ließen allerdings die Frage offen, inwiefern sich ein dominanter PRL herausbildet oder es multiple PRLs beim binokularen Sehen gibt. Auch Kabanarou et al. (2006) schlussfolgerten aus ihren Ergebnissen, dass sich das Blickverhalten binokularer und monokularer Sehkonditionen unterscheidet. Sie erforschten binokulare und monokulare Fixationsinstabilitäten in Grad visueller Sehwinkel (°) während einer Fixationsaufgabe bei Patienten mit bilateraler AMD. Die Autoren konstatierten einen medianen Unterschied zwischen der binokularen Messung und der monokularen Messung des besseren Auge von 1.2° (.2° bis 12°) bzw. der monokularen Messung des schlechteren Auges von 5.4° (.5° bis 22°). Signifikant wurde dieser Unterschied in 68.9% der untersuchten AMD Patienten. Weiterhin haben sie den Abstand der PRLs in beiden Augen mit Hilfe einer SLO-Untersuchung bestimmt und festgestellt, dass sie durchschnittlich 6.9° (Standardabweichung: 4.8°) von einander abwichen. Darüber hinaus legten die Autoren dar, dass eine größere Fixationsinstabilität mit nicht korrespondieren PRLs einhergeht. Kabanarou et al. (2006) schlussfolgerten, dass nicht etwa das bessere Auge (wie z.B. von Sunness et al., 1995 angenommen), sondern das schlechtere Auge für

Differenzen im binokuluaren versus monokularen Sehen verantwortlich sein könnte und dass Konklusionen, welche aus monokularen Ergebnissen gewonnen würden, nur eingeschränkt auf binokulares Sehen übertragbar seien. Verezen et al. (2011) analysierten das Blickverhalten von 434 Patienten, welche größtenteils eine AMD Erkrankung aufwiesen, unter binokularen Konditionen und verglichen es mit Berichten aus der Literatur zum monokularen Blickverhalten. In ihrer Untersuchung identifizierten die Autoren bei der Mehrheit der Patienten einen PRL, welcher links von der Fovea lag. Unter monokularen Konditionen wurde mehrheitlich ein PRL unterhalb der fovealen Fixation berichtet. Diese Ergebnisse deuten auf multiple PRLs in Abhängigkeit davon hin, ob eine binokulare oder monokulare Sehsituation vorliegt.

Zusammenfassend bleibt zu konstatieren, dass die PRLs in Augen von Patienten, die große interokulare Differenzen aufweisen, nicht in korrespondierenden Netzhautarealen zu liegen scheinen. Unklar bleibt aber vorerst, inwiefern die monokular verschiedenen PRLs in binokularen Sehsituationen miteinander verbunden sind und durch den PRL des besseren Auges gesteuert werden. Vorsicht scheint daher insbesondere bei der Interpretation monokular entstandener Ergebnisse angebracht, wenn sich die Sehleistungen der untersuchten Augen stark voneinander unterscheiden. Daher wurde ein Großteil der hier vorliegenden Untersuchungen binokular durchgeführt.

## 3.4 Resümee für die vorliegende Arbeit

Resümierend ist man wohl zu vorsichtigen Interpretationen von Ergebnissen aus Studien mit AMD Patienten in unterschiedlichen Stadien, mit divergierenden Krankheitsverläufen bzw. Untersuchungen mit simulierten Skotomen über adaptive Augenbewegungsprozesse angehalten, zumal eine inter-individuelle Heterogenität in allen Studien dominierte. Allein Duret et al. (1999) identifizierten in vier AMD Patienten fünf okulomotorische Verhaltensmuster. Weiterhin ist festzustellen, dass eine theoriebasierte Vorhersage bestimmter Augenbewegungsmuster beim Vorliegen eines zSV fehlt. Bisher wurden die Augenbewegungsmaße rein deskriptiv berichtet. Weiterhin wurden die Augenbewegungen in dem Kontext eines zSV nicht in Beziehung zu Aufmerksamkeitsprozessen gesetzt. In der vorliegenden Arbeit wird im Gegensatz dazu der Versuch unternommen, aus attentionalen (auf Aufmerksamkeit beruhende) und okulomotorischen (auf Augenbewegung beruhende) Salienzkartenmodellen Vorhersagen für die Veränderung von Augenbewegungen bei einem zSV abzuleiten sowie Verbindungen zu attentionalen Prozessen zu ziehen. Außerdem scheint ein Übertrag monokular ermittelter Ergebnisse nicht auf eine binokulare (und damit der im Alltag der Patienten) vorliegende Sehsituationen nicht ohne Weiteres möglich zu sein.

**Abkürzungen**

> AMD: Altersbedingte Makuladegeneration
>
> PRL: preferred retinal locus
>
> SLO: Scanning– Laser– Ophthalmoskop
>
> zSV: zentraler Sehverlust

# 4
# Aufmerksamkeit

*Visuelle Aufmerksamkeit: Fähigkeit oder Einschränkung?*

**Zusammenfassung**

In diesem Kapitel werden in sehr knapper Form ausgehend von einer historischen Betrachtung aktuelle Sichtweisen zum Thema *visuelle Aufmerksamkeit* beschrieben. Dabei wird auf Bereiche fokussiert, welche für diese Arbeit zentral erscheinen: visuelle Modalität, zweidimensionale Wahrnehmungssituation, kognitionspsychologische Perspektive.

**Schlüsselwörter**

visuelle Aufmerksamkeit, endogen, exogen, ortsbasiert, objektbasiert

## 4.1 Begriffsbestimmung

### 4.1.1 Sprachliche Betrachtung

Beginnen möchte ich mit einer sprachlichen Auseinandersetzung, da sie das Augenmerk auf einen ersten zentralen Punkt lenkt. Das deutsche Wort *aufmerken* bedeutet laut Dudenredaktion (2006) *die Sinne auf etwas lenken* und gilt als intransitives Verb. Das heißt unter anderem, dass *jemand oder etwas wurde aufgemerkt* keine sinnvolle Passivbildung darstellt. Das kann zunächst zu der Vermutung führen, *aufmerken* sei in dem Sinne ein aktiver Vorgang, mit welchem die *willentliche* Hinwendung von Sinnesorganen auf bestimmte Eindrücke und damit allerdings ebenso die Abwendung von gewissen anderen Eindrücken gemeint sei. Das französische Wort *attention* steht in einem engem Bezug zu dem Wort *attendre* und bedeutet *etwas erwarten*, *abwarten*. Dies impliziert eine passive Lesart und mag eher das Eintreffen von Eindrücken auf die Sinnesorgane charakterisieren denn eine bewusste Hinwendung dieser auf bestimmte Eindrücke. Das lateinische Wort *attentio* weist durch seinen Bezug zu dem Wort *tensio* auf einen weiteren Aspekt von Aufmerksamkeit hin, den der Dehnung oder Spannung, also einer gewissen Flexibilität der Reichweite. Diese knappe sprachliche Darlegung deutet bereits an, dass Aufmerksamkeit weniger als einheitliches Konzept diskutiert werden kann. Vielmehr werden mit diesem Begriff verschiedene Aspekte angesprochen, welche im Zusammenhang mit der Handlungsabsicht und der menschlicher Wahrnehmung zu beobachten sind.

### 4.1.2 Historische Betrachtung

Eine vollständige Betrachtung historischer Blickwinkel auf die Thematik der Aufmerksamkeit würde den Fokus dieser Arbeit beträchtlich übersteigen. Dennoch sei ein konziser Rückblick mit dem Verweis erlaubt, dass bereits recht frühe Beschreibungen das Facettenreichtum, welches mit dem Begriff der Aufmerksamkeit verbunden werden kann, unterstreichen. Ich beziehe mich dabei hauptsächlich auf Auszüge einer empfehlenswerten Zusammenfassung von Bernhard Waldenfels (2004).

Locke schrieb 1689: „Wenn man die Ideen, die sich von selbst darbieten [...], beachtet und sie gleichsam im Gedächtnis registriert, so ist das *Aufmerksamkeit*.“ (zitiert nach Waldenfels, S.21, Hervorhebung im Orginal). Nach der Auffassung von Leibniz (1921) erscheint Aufmerksamkeit als „[...] ein Schwellenphänomen. Sie tritt dort auf, wo der endlose Strom unmerklicher Perzeptionen in die bewußte Apperzeption übergeht.“ (zitiert nach Waldenfels, S.21). 1950 fasste Husserl demgegenüber „[...] Aufmerksamkeit [...] als geistiger Blick, als Blickstrahl [...], in der alles was ist, auf bestimmte Weise zu Erschei-

nung kommt. [...]. In der Aufmerksamkeit sehen wir nicht anders, sondern wir sehen, was wir sehen, anders als zuvor.“ (zitiert nach Waldenfels, S.25-26). William James schrieb 1850 der Aufmerksamkeit verschiedene Bedeutungen zu: „Aufmerksamkeit bedeute [...] the taking possesion by the mind in clear and vivid form, of one out of what seem several simultanously possible objects or trains of thought. [...] the selection of some, and the supression of the rest.“ (zitiert nach Waldenfels, S.27). Er führte weiter aus: „[...] the general law of economy which causes us to select for concious notice only such elements of our object as will serve us for aestethic or practical utility, and to neglect the rest, [...].“ (James, 1918, S.31). Aber ebenso beschrieb er: „[...] passive sensorial attention [...]“ als Aufmerksamkeit (zitiert nach Pashler, 1999, S.242). 1904 führte Helmholtz aus: „Der natürliche, ungezwängte Zustand unserer Aufmerksamkeit ist, herumzuschweifen zu immer neuen Dingen, und so wie das Interesse eines Objektes erschöpft ist, so wie wir nichts neues daran wahrzunehmen wissen, so geht es wider unseren Willen auf ein anderes über.“ (zitiert nach Conrat, 1999, S.15). Paul Valéry schrieb 1973 kurz: „Ereignisse lassen aufmerken.“ (zitiert nach Waldenfels, 2004, S.34).

Zusammengefasst ist diesen Zitaten zu entnehmen, dass Aufmerksamkeit sowohl im Sinne einer *allgemeinen Bereitschaft* Eindrücke aufzunehmen (z.B. „herumschweifen zu immer neuen Dingen“) als auch einer *Auswahl* von Eindrücken (z.B. „selection of some“) aufgefasst wird. Weiterhin scheint mit der Auswahl bestimmter Eindrücke, auch die *Ablehnung* anderer (z.B. „supression of the rest“) einherzugehen. Eine *willentliche* Lenkung der Aufmerksamkeit (z.B. „geistiger Blickstrahl“) scheint ebenso Beachtung zu finden wie eine *reizgesteuerte* (z.B. „wider unseren Willen auf ein anderes Objekt über“). Anknüpfend an die Erkenntnis, welche aus der sprachlichen Auseinandersetzung gewonnen wurde, deuten sich auch hier verschiedene Aspekte von Aufmerksamkeit mehr denn ein einheitliches Konzept an. Mehr oder minder direkt wurden dabei drei Aspekte angesprochen, welche in modernen Betrachtungen immer noch kontrovers diskutiert werden: Aufmerksamkeit als *Ursache oder Wirkung*, *Steuerung* sowie *Einheiten* der Aufmerksamkeit.

### 4.1.3 Limitierung und Selektion: Ursache oder Wirkung?

Wahrnehmungsresultate stellen keine exakte Kopie der objektiv messbaren Umgebungseigenschaften dar, sondern enthalten ausgewählte Merkmale der Umgebung (Ansorge & Leder, 2011). Es schließt sich die Frage an, wie diese Limitierung bzw. Auswahl zu charakterisieren ist. Hinsichtlich dieser Frage stehen sich zwei Schaubilder gegenüber, wobei sich jedes für sich feiner aufgliedern ließe. In älteren Ansichten dominiert die Ansicht, das menschliche Verarbeitungssystem unterliegt einer finiten Kapazität (z.B. Broadbent, 1971; Kahneman, 1973, ausführliche Diskussionen in van der Heijden, 1987; Neuman,

1992). Prominente Modelle, die eine finite Kapazität annehmen, sind die sogenannten *Flaschenhals-* und *Filtertheorien* (Broadbent, 1966; Deutsch & Deutsch, 1963; Norman, 1968; Treisman, 1960) sowie die Anschauungen eines *Ressourcenpools* (Welford, 1952; Kahneman, 1973). Aufmerksamkeit besitzt in diesem Schaubildern keine Funktion, sondern stellt sich als Konsequenz der Eigenschaften des Verarbeitungssystems dar. Aufmerksamkeit wird je nach Modell an der „Stelle" im Verarbeitungsprozess lokalisiert, an der die Ressourcenlimitierung angenommen wird. Empirische Befunde dieser Vorstellung wurden ausführlich diskutiert (z.B. Allport, 1993, 1987; van der Heijden, 1987; Neuman, 1987, 1992; Styles, 2006; Pashler, 1999). Mit einem Satz kann man diese Sichtweisen folgendermaßen zusammenfassen: Es findet Selektion statt, weil die Kapazität begrenzt ist.[1]
In neueren Sichtweisen wird der Notwendigkeit der Selektion aufgrund einer begrenzten Kapazität die Beschaffenheit des Körpers, insbesondere die der Handlungseffektoren, entgegengestellt (z.B. Allport, 1987). Die Frage nach der Notwendigkeit einer Selektion, kehrt sich geradezu ins Gegenteil um. Eben weil das menschliche Verarbeitungssystem eine sehr große Kapazität aufweise, die Ausführungsmöglichkeiten für Handlungen allerdings begrenzt seien, sei eine Selektion vonnöten (Allport, 1987; Neuman, 1987). Diese Vorstellung stellt Selektivität also weniger als Mangel, denn als Fähigkeit dar (Ansorge & Leder, 2011). Prominente Modelle, die dieser Vorstellung folgen, sind die sogenannten *konnektionistischen* oder *Netzwerkmodelle* (z.B. McClelland & Rummelhart, 1981), aber auch mehrdimensionale Ansätze (z.B. Posner & Boies, 1971; Sturm, 2005). Aufmerksamkeit erlangt in dieser Anschauung den Status einer Fähigkeit. Sie befähigt uns aus einem Strom unbegrenzter Möglichkeiten, eine Auswahl zu treffen. Mit einem Satz kann man diese Sichtweise folgendermaßen zusammenfassen: Die Kapazität erscheint begrenzt, weil Selektion stattfindet.

[1] Hier sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Auffassung, Selektion erfolge aufgrund eines Mangels an Verarbeitungskapazität, hier recht grob zusammengefasst wurde. Es besteht zum einen Uneinigkeit darüber, ob es eine einheitliche Ressource gibt, welche verwaltet wird (*Homogenitätsannahme* oder *Ressourcenpool*: z.B. Welford, 1952; Kahneman, 1973) oder es an einer „Stelle" der Wahrnehmung einen „Engpass" gibt, an dem die Selektion stattfindet (z.B. Broadbent, 1966). Zum anderen besteht eine Debatte zu der Frage, an welcher Stelle der Informationsverarbeitung sich der Flaschenhals befindet - *early* (Selektion aufgrund physischer Reizmerkmale) versus *late* (Selektion aufgrund kategorialer bzw. semantischer Charakteristika) sowie um die Anzahl der Filter - *seriel* versus *parallel*. Diese Debatten werden hier nicht vertiefend diskutiert. Es sei auf eine detaillierte Diskussion zum Beispiel in Styles (2006) verwiesen.

### 4.1.4 Selektion als Ursache: Funktionsbereiche

Das bisher Dargelegte deutet bereits darauf hin, dass Aufmerksamkeit häufig im Sinne von Selektion verstanden wird. Weiterhin wurde bereits festgestellt, dass Aufmerksamkeit und damit auch Selektion uneinheitlich definiert und auf unterschiedlichen Bedeutungsebenen (z.B. als Agent von Limitierung; als Ergebnis von Begrenzung) angesiedelt werden (Allport, 1993). Neuman (1992) diskutierte in diesem Zusammenhang fünf Funktionen von Aufmerksamkeit (Selektion), welche unterschiedliche Mechanismen erfüllen. Er wandte sich damit einerseits von der Vorstellung ab, Aufmerksamkeit wäre ein uniformes Gebilde und fokussiert anderseits den beschreibenden, mehr denn den erklärenden Charakter von Aufmerksamkeit in Bezug auf die Selektivität der Wahrnehmung:

1. *Verhaltenshemmung*: Hemmung von physiologisch unvereinbaren Handlungsalternativen

2. *Regulation des physiologischen Erregungsniveaus*: Orientierungsreaktion in Folge unerwartbarer Reize

3. *Informationsselektion zur Handlungssteuerung* (*selection for action*): Selektion wie eine Handlung ausgeführt werden soll

4. *Handlungsplanung*: Ausführung und Kombination von Fertigkeiten ohne Übung

5. *Hemmung beim Einsatz von Fertigkeiten*
   Hemmung konkurrierender Fertigkeiten

Diese Aufzählung mag beliebig erweiterbar sein, dennoch signalisiert sie deutlich eine Abkehr von dem Versuch Aufmerksamkeit in *eine* Worthülse zu betten und konzentriert vielmehr die Idee, die eigene Arbeit unter die Deutung der jeweils relevanten Funktionsgruppe zu stellen. Obacht scheint hierbei geboten, nicht für jeden Aspekt ein neues Feld aufzumachen und damit eine Vergleichbarkeit mit anderen Forschern zu verwirken.

### 4.1.5 Steuerung und Einheiten der Selektion

Der folgende Abschnitt behandelt die Frage, welche Kriterien über die Auswahl der Merkmale entscheiden, die Zugang zur menschlichen Wahrnehmung erhalten. Dabei möchte ich die Darstellung auf zwei Dimensionen mit den folgenden Polen lenken: (1) Steuerung: *bottom-up* versus *top-down* sowie (2) Einheiten: *ortsbasiert* versus *objektbasiert*.

#### Steuerung: *Bottom-up* versus *top-down*

Zur Beantwortung der Frage, wie Aufmerksamkeit (im Sinne von Selektivität) gelenkt wird, werden zwei konträre Konzepte herangezogen. Einerseits kann man der Vorstellung folgen, dass auffällige Ereignisse unsere Aufmerksamkeit unwillkürlich anziehen (*bottom-up*). Solche Ereignisse können zum Beispiel das plötzliche Erscheinen eines Reizes sein oder eine schillernde Farbe; also Eigenschaften, welche dem Reiz und damit der äußeren Welt zuzuordnen sind (Pashler, 1999). Die Lenkung der Aufmerksamkeit erfolgt im *bottom-up*-Ansatz also *unwillkürlich* und in der Regel *exogen*.[2]
Anderseits kann man die Frage auch so beantworten, dass ein Betrachter das wahrnimmt, was er wahrnehmen möchte (*top-down*). In dieser Vorstellung würde die Aufmerksamkeit *willentlich* von *endogenen* Zielen, Erwartungen, Vorerfahrungen oder Gewohnheiten gesteuert. In der Alltagsphänomenologie lassen sich zahlreiche Beispiele für beide Vorstellungen finden. Die wissenschaftliche Debatte ist hauptsächlich mit dem Paradigma des *attentional capture* verknüpft (nähere Ausführungen siehe z.B. Wienrich & Janczyk, 2011). Dabei werden verschiedene *Capture*-Arten unterschieden, die sich mehr oder minder dem *bottom-up* bzw. dem *top-down* Ansatz zuordnen lassen.

1. *Lenkung durch Reizauffälligkeiten*

   Es gibt in der kognitionspsychologischen Literatur einige Befunde, die dafür sprechen, dass ein Reiz immer dann die Aufmerksamkeit lenkt, wenn er in mindestens einem Merkmal hervorstechend erscheint (z.B. Joseph & Optican, 1996; Theeuwes, 1992, 1994). Die Auffälligkeit kann in einem Reizmerkmal (*saliency capture*: Theeuwes, 1992; *spatial cueing*: Posner, 1980) oder in einer Änderung der Wahrnehmungssituation (*onset capture*: Folk, Remington & Johnston, 1992; *suprise capture*: Horstmann, 2005; *unique capture*: Mühlenen, Rempel & Enns, 2005) begründet sein.

[2] Es lassen sich sofort Beispiele finden, in denen eine unwillkürliche und exogene Steuerung der Aufmerksamkeit nicht zusammenfallen (z.B. plötzlich auftretender Schmerz). Hier sei allerdings der Regelfall angesprochen, in dem eine Kongruenz angenommen werden kann (Müller-Plath, 2014, persönliche Kommunikation).

Diese Form der Aufmerksamkeitslenkung wird in der Regel als *reizgesteuert* bezeichnet und damit dem *bottom-up* Ansatz zugeordnet.

2. *Lenkung durch Absichten*

Im Gegensatz dazu gibt es ebenso Befunde dafür, die zeigen, dass ein Reiz nur dann Aufmerksamkeit auf sich zieht, wenn er zielrelevante Merkmale teilt (*contingent capture*: Folk & Remington, 1998; *semantic cueing*: Tulving & Pearlstone, 1966). Mit anderen Worten nur eine gewisse Ähnlichkeit zu dem was im Interesse unserer Betrachtung liegt, kann Aufmerksamkeit lenken bzw. ablenken (*top-down*).

Zusammenfassend scheinen Merkmale in unserer Umwelt, willkürlich und unwillkürlich eine gewisse Beachtung zu erfahren. Darüber hinaus fallen unterschiedliche experimentelle Bedingungen auf, in denen Befunde für den *bottom-up* bzw. den *top-down* Ansatz berichtet wurden (ausfürhliche Darstellung siehe Theeuwes & Godijn, 2001). Weiterhin gibt es neben zahlreichen Befunden, welche für die Lenkung durch Reizauffälligkeiten oder für die Lenkung durch Absichten sprechen, Bemühungen, *bottom-up capture* durch *top-down* Prozesse zu erklären und umgekehrt. So könnte beispielsweise die Lenkung von vermeintlich irrelevanten Reizen (z.B. *saliency capture*) *top-down* gesteuert sein, nämlich genau dann, wenn es zielrelevant ist, auf ein solches Ereignis zu achten (Egeth, Folk, Leber, Nakayama & Hendel, 2001).

Des Weiteren stellt sich die Frage nach der Relevanz der *bottom-up* Effekte. In klassischen Ablenkerexperimenten werden häufig recht kleine Effekte (15 ms - 25 ms), die nur innerhalb von wenigen Millisekunden (100 ms - 150 ms) auftreten, berichtet (Theeuwes & Godijn, 2001). Obschon ein menschlicher Lidschlag längere Latenzen verursacht (durchschnittlich 300 ms - 400 ms), kann vermutlich nicht davon gesprochen werden, dass *bottom-up* Effekte keine Relevanz besitzen. Diese hängt ebenso davon ab, ob der Ablenkung nachfolgend eine Neubewertung der Wahrnehmungssituation und gegebenenfalls eine Änderung der Aufmerksamkeits- und Handlungssteuerung erfolgt ist.

Zuletzt kann die Frage gestellt werden, ob die Dichotomie zwischen *top-down* und *bottom-up* eine passende Taxonomie zur Beschreibung der Steuerung von Aufmerksamkeit ist. Awh, Belopolsky und Theeuwes (2012) diskutierten diese Frage ausführlich in einem Überblicksartikel und kamen zu dem Schluss, dass die Steuerung von Aufmerksamkeit nicht als *top-down* oder *bottom-up* bezeichnet werden kann. Sie wird nach Auffassung der Autoren vielmehr durch aktuelle Ziele (*top-down*), die physischen Merkmale (*bottom-up*)

sowie die Auswahlhistorie (*selection history*) bestimmt. Die Auswahlhistorie ist geprägt von der Auswahl und der Belohnung vorangegangener Selektionssituationen (z.B. früher bearbeitete Durchgänge in einem Aufmerksamkeitsexperiment). In ihr können *top-down* und *bottom-up* Prozesse gleichermaßen eingehen, was eine Dichotomisierung in Frage stellt (ausführliche Diskussion siehe Awh et al., 2012). Andere Autoren komplementierten diese Diskussion. Müller-Plath und Klöckner (2014) beschrieben die Steuerung von Aufmerksamkeit als dynamischen Prozess, der sich als Interaktion zwischen *top-down* und *bottom-up* Mechanismen äußert.

### Einheiten: Orts- versus objektbasierte Aufmerksamkeit

Im Mittelpunkt dieser Diskussion steht ebenso die Frage, auf was sich Aufmerksamkeit (im Sinne von Selektion) bezieht. Sind es bestimmte Orte im Raum oder konkrete Objekte? Die ortsbasierte Vorstellung wird im Wesentlichen durch zwei einflussreiche Paradigmen gestützt - das *Flankierreiz-* Paradigma (Eriksen & Eriksen, 1974) und das *spatial cueing* Paradigma (Posner, 1980). Auch wenn die Methoden der beiden Forschergruppen recht verschieden waren, konnten beide einen Zusammenhang in der Verarbeitung räumlich benachbarter Reize feststellen. Ferner konnte gezeigt werden, dass Reize, welche an einem für den Stimulus typischen Ort erschienen, schneller erkannt werden als an einem nicht üblichen Lokus (Miller, 1988). Hoffman und Subramaniam (1995) führten diese Ergebnisse weiter aus und stellten unter anderem fest, dass dieser Reaktionsvorteil abnahm, je entfernter die abgefragte von der vormals wiederholten Position war. Nachfolgend häuften sich allerdings empirische Berichte, dass Aufmerksamkeit weniger auf eine Lokalisation, denn auf ein Objekt selbst gerichtet sei. Im *spatial cueing* Paradigma von Posner sei beispielsweise nicht auf den Ort hingewiesen, sondern auf die Kästchen, in der die Hinweisreize dargeboten wurden und damit auf ein Objekt (Müsseler, 2007, S.139). Vielfach zitiert wird in diesem Zusammenhang eine Untersuchung von Duncan (1984), welcher zwei räumlich überlappende Objekte präsentierte und seine Probanden zum einen bat, Urteile über Aspekte eines Objektes (welche räumlich auch getrennt sein konnten) und zum anderen Bewertungen über Aspekte der verschiedenen Gestalten (welche sich räumlich nahe sein konnten) abzugeben. Als Resultat fanden sich genauere Urteile, wenn sie sich auf ein Objekt bezogen, als wenn sich die Angaben auf einen Ort bezogen. Weiterhin gibt es zahlreiche Befunde, die entgegen der Annahme von Eriksen und Hoffman (1973) die Schlussfolgerung nahe legen, Aufmerksamkeit lasse sich zur gleichen Zeit auf verschiedene Orte aufteilen (*split attention*) (Yantis, 1992; Pashler, 1999, S. 240-241).
Watson und Kramer (1999) vertrat eine weniger strikte Trennung zwischen den beiden Einheiten. Er ging davon aus, dass objektbasierte Selektion in einem räumlichen Medium stattfindet und dass je nach Wahrnehmungssituation eine der beiden Komponenten do-

minieren kann. Auch neuere Arbeiten weisen darauf hin, dass die Dichotomie *orts-* versus *objektbasiert* in Frage gestellt wird (Awh et al., 2012; Müller-Plath & Klöckner, 2014).

Zusammenfassend möchte ich feststellen, dass die Steuerung von Aufmerksamkeit anhand diverser Kriterien stattfinden kann. Ein Beobachter ist einerseits *bereit* auf Ereignisse aus seiner Umwelt zu reagieren (*bottom-up*) und dennoch *fähig*, Aufgaben gezielt mit einer gewissen Zuwendung zu erfüllen (*top-down*). Weiterhin möchte ich der Idee von Watson und Kramer (1999) folgen, die davon ausgehen, dass objektbasierte Selektion in einem räumlichen Medium stattfindet und je nach Wahrnehmungssituation eine der beiden Einheiten dominieren kann.

## 4.2 Bildliche Veranschaulichungen von Aufmerksamkeit

Es existieren diverse bildliche Anschauungen über den *modus operandi* von Aufmerksamkeit. Einige Bilder lassen sich der *bottom-up*, manche der *top-down* Perspektive zuordnen, andere folgen einem *orts-* und ein paar einem *objektbasierten* Ansatz, wenngleich etliche Illustrationen Annahmen diverser Perspektiven vereinen.

Die Bilder eines *Ressourcenpools* und die eines *Flaschenhalses* bzw. *Filters* wurden weiter oben schon kurz beschrieben. Sie sollen hier allerdings keine weitere Beachtung finden, da sie für das Verständnis der Arbeit irrelevant sind.

Zwei recht eindeutig raumbasierte Metaphern sind die sogenannte *Scheinwerfer-* (*spotlight*) und die *Gummilinsen-* (*zoom lens*) Metapher, welche von Posner (1980) bzw. Eriksen und Eriksen (1974) geprägt wurden. Aufmerksamkeit in Form eines Scheinwerfers stellt ein starres Gebilde dar, die Gummilinse zeigt sich hingegen variabel bezüglich ihrer Größe und Auflösung. Die Ausdehnung kann von unfokussiert (global) bis fokussiert (lokal) reichen, wobei ersteres der Ausgangszustand und zweiteres ein zeitverbrauchender Prozess ist (Navon, 1977; Shiffrin & Czerwinski, 1988).[3] Sowohl der Scheinwerfer als auch die Gummilinse beleuchten nur räumlich zusammenhängende Gebiete pro Zeiteinheit. Objekte, welche sich zu dieser Zeit an diesem Ort befinden, werden stärker beachtet als Objekte an anderen Orten.[4] Während die Illustrierung von Aufmerksamkeit als Schein-

[3] Man bedenke die Worte von Helmholtz: „Der natürliche, ungezwängte Zustand unserer Aufmerksamkeit ist, herumzuschweifen [...]."

[4] Ort steht hier stellvertretend für ein räumlich zusammenhängendes Gebiet. Die Größe des Ortes kann dabei variable sein und beispielsweise die Ausdehnung einer Fingerkuppe oder eines Gesichts einnehmen.

werfer heutzutage kaum noch Beachtung findet, taucht die Idee der Gummilinse auch in jüngeren Vorstellungen häufig auf: *Mentales Auge* (*mind's eye*: Jonides, 1983); *Aufmerksamkeitsfenster* (*attentional window*: Theeuwes, 2004); *Wahrnehmungsspanne* (*perceptual span*: McConkie & Rayner, 1975); *visuelle Spanne* (*visual span*: O'Regan, Lévy-Schoen & Jacobs, 1983); *Aufmerksamkeitszone* (*zone of focal attention*: Motter & Belky, 1998) oder *Aufmerksamkeitsfokus*: Müller-Plath & Pollmann, 2003. Diese Metaphern vereinen in meiner Sicht *top-down* und *bottom-up* Ansätze. *Top-down* gesteuert ist die Verteilung, die Zuwendung der Aufmerksamkeit auf bestimmte Orte, Objekte oder Merkmale. Diese geschieht intentional und zielgerichtet. Die Auswahl wird in einigen Veranschaulichungen (z.B. in der Metapher eines *Aufmerksamkeitsfensters* nach Theeuwes, 2004) durch Reizauffälligkeiten, *bottom-up* bestimmt. Andere Anschauungen (z.B. die des *Aufmerksamkeitsfokus* nach Müller-Plath & Pollmann, 2003) und meiner eigenen Ansicht ist allerdings fraglich, inwiefern *auffällig* als eine reine Eigenschaft des Reizes und nicht im Sinne von *Salienz* als psychologischem Konstrukt definiert werden sollte (vgl. Abschnitt 6.1, S. 73).

Andere Autoren unterschieden den *modus operandi* weniger nach der Ausdehnung von Aufmerksamkeit, sondern vielmehr danach, wie Merkmale von Objekten beschaffen sind. Sie scheinen in dem Sinne also stärker objektbasiert zu sein. Bacon und Egeth (1994), aber auch schon Pashler (1988) schlugen zwei Modi der effektiven Zielreizentdeckung vor. Im sogenannten *singleton search mode* würden Wahrnehmende lediglich darauf achten, was bzw. ob sich etwas verändert. Zielreize unterscheiden sich in entsprechenden Paradigmen durch *ein* Merkmal (*singleton*) von anderen Reizen. Sobald sich Reize in *mehr* als einem Merkmal von einander unterscheiden, würden Beobachter verstärkt auf bestimmte Merkmale achten und in den sogenannten *feature search mode* wechseln. Auch für diese Hypothese gibt es eine Reihe unterstützender empirischer Befunde (z.B. Lamy & Egeth, 2003). Beide Modi werden dem *top-down* Ansatz zugerechnet (trotz der *bottom-up* anmutenden Steuerung der Aufmerksamkeit im *singleton search mode*), da das *singleton* selbst zu dem definierenden Merkmal wird und in diesem Sinne die Reizauswahl intentional stattfinde (Egeth et al., 2001).

Eine ebenso *top-down* basierte Anschauung ist die des *Sets*, bei der Erwartungen dafür sorgen, dass Betrachter besonders empfänglich für bestimmte Informationen sind. Hier wird auf eine ausführliche Diskussion in Pashler (1999) verwiesen.

## 4.3 Arbeitsdefinition

Zusammenfassend kann ich die Frage danach, was Eingang in unsere Wahrnehmung findet lediglich mit: „*Es kommt darauf an.*“ beantworten. In einigen Situationen gelingt es uns recht gut, ausschließlich Orte bzw. Objekte oder Merkmale, welche wir wahrnehmen wollen oder die ihnen ähneln (*top-down* Perspektive). In anderen Situationen sind es besonders auffällige Orte oder Merkmale, welchen wir Aufmerksamkeit schenken (*bottom-up* Perspektive). In anderen Situationen erfolgt die Selektion dynamisch als Interaktion dieser Perspektiven (z.B. charakterisiert in der Auswahlhistorie). Ich möchte mich insofern der *top-down* Perspektive anschließen, als dass ich annehme, dass wir über die Fähigkeit verfügen, zu bestimmen, in welchen Situationen wir besonders empfänglich für eine Vielzahl von Eindrücken sind und in welchen wir besonders empfänglich für ganz spezifische Reize sind. Weiterhin erscheint mir die Vorstellung unplausibel, dass wenn nicht zu beachtende Reize Eingang in die Wahrnehmung finden, dies völlig unwillkürlich geschieht. Sinnvoller erscheint mir hingegen die Vorstellung, dass auch die nicht zu beachtenden Stimuli für den Betrachter eine gewisse Relevanz haben und sei es nur die, ein Nicht-Zielreiz zu sein. Außerdem möchte ich der Anschauung folgen, Aufmerksamkeit verteile sich in einem gewissen Raum, in welchem Objekte und Merkmale stärkere Beachtung finden als an anderen Stellen, wenngleich einige dieser Objekte oder Merkmale zum Beispiel via Aufgabenstellung nochmals einen erleichterten Zugang zu unserer Wahrnehmung finden können. Damit schließe ich mich bildlichen Vorstellungen wie zum Beispiel der des *Aufmerksamkeitsfokus* an, welcher *top-down* gesteuert ist. In dieser Arbeit ist mit dem Begriff der Aufmerksamkeit lediglich der Aspekt der *Selektion* gemeint. Andere Dimensionen wie beispielsweise die Intensität seien hier nicht angesprochen. Grundlegend begreife ich Aufmerksamkeit nicht als Einschränkung unseres Systems, sondern als Fähigkeit, als notwendiges Resultat, aus dem Strom an Informationen, die für eine bestimmte Aufgabe relevanten herauszufiltern (Selektion als Ursache).

**Arbeitsdefinition**:

> Aufmerksamkeit sei in der vorliegenden Arbeit als „Vorgang“ definiert, eine für die jeweilige Wahrnehmungssituation angemessene Auswahl von Wahrnehmungseindrücken zu treffen. Die Steuerung finde *endogen* und *willentlich* in ortsbasierten Einheiten statt.

## 4.4 Augenbewegung und Aufmerksamkeit

Wenn man der Alltagsphänomenologie folgt, wäre die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Augenbewegungen und Aufmerksamkeit mit einem Satz beantwortet: In der Regel haben wir das Gefühl, das wahrzunehmen, wo wir hinschauen. Die wissenschaftliche Auseinandersetzung gestaltet sich differenzierter und beschäftigt sich mit den folgenden Fragen:

1. Sind Augenbewegungen notwendig, um Aufmerksamkeit zu verlagern?
2. Folgt die Aufmerksamkeit den Bewegungen der Augen oder umgekehrt?
3. Welche kognitiven Prozesse können mit verschiedenen Komponenten von Augenbewegungen in Verbindung gebracht werden?

Die erste Frage lässt sich aus einigen Zusammenhängen, welche bereits beschrieben wurden, recht schnell mit *nein* beantworten. Es gibt Paradigmen, bei denen die Probanden aufgefordert werden, ihren Blick zentral zu fixieren. Während dieser zentralen Fixationen werden Reize dargeboten und anschließend die Reaktion auf diese abgefragt (z.B. *partial report*: Sperling, 1960; *spatial cueing*: Posner, 1980). Die Befunde aus solchen Untersuchungen zeigen, dass Aufmerksamkeit auch ohne eine Bewegung der Augen, verlagert werden kann (*covert attentional shift*). Mit anderen Worten können wir unsere Aufmerksamkeit auf Orte lenken, die wir nicht anschauen.
Dennoch ist es schon aus einer anatomischen Begründung heraus naheliegend, dass Aufmerksamkeit und Augenbewegungen miteinander zusammenhängen (betrifft die zweite Frage). So erscheint es durchaus plausibel, visuelle Eindrücke ins Zentrum unseres Blickes zu holen, da wir dort die beste Sehschärfe und Auflösungskraft besitzen (Kapitel 2). Es gibt zahlreiche Befunde, die dafür sprechen, dass genau die Eindrücke ins Zentrum des Blickes verschoben werden, auf die zuvor die Aufmerksamkeit gelenkt wurde. Insofern also Augenbewegungen gemacht werden, ist auch eine Verlagerung der Aufmerksamkeit zu beobachten (*overt attentional shift*) (Schneider & Deubel, 1995; Findlay & Gilchrist, 1998).

Die verschiedenen Phasen, welche während einer Augenbewegung stattfinden, werden mit unterschiedlichen kognitiven (attentionalen) Prozessen verbunden. Wie in Kapitel 3 bereits beschrieben, wird die Fixation mit der Aufnahme von Informationen und daher die *Dauer einer Fixation* mit der *Verarbeitungsdauer* (unter Aufmerksamkeit) assoziiert (Just & Carpenter, 1980). Mehrfachfixierungen werden mit einem fragmentarischen Gedächtnis an den Suchpfad sowie mit einer mangelhaften Verarbeitungszeit während der

Fixation assoziiert (gedächtnis-geleitete Modelle: Dickinson und Zelinsky (2005, 2007); Gilchrist und Harvey (2006); Verarbeitungszeit-Modelle: Peterson et al. (2001); Wienrich et al. (2009)). Sakkadische Maße, insbesondere die Sakkadenamplitude, wird indes als Maß für die Größe des *Aufmerksamkeitsfokus* (Aufmerksamkeitsfenster, perzeptuelle Spanne) angeben (Rayner, 1998; Wienrich et al., 2009).

## 4.5 Resümee für die vorliegende Arbeit

Unter Aufmerksamkeit können verschiedene Dimensionen und Aspekte betrachtet werden. Die vorliegende Arbeit zentriert die Selektion und beschäftigt sich mit der Frage, inwiefern die Reichweite dieser Selektion (*Aufmerksamkeitsfokus*) von einem zentralen Sehverlust beeinflusst wird.

# 5

# Visuelle Suche in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition, dem Alter sowie einem zentralen Sehverlust

*Was man sucht - es lässt sich finden, was man unbeachtet lässt - entflieht!*
(Sophokles, König Odipus (Kreon), ca. 429–425 v. Chr)[1]

**Zusammenfassung**

In diesem Kapitel wird das Paradigma der visuellen Suche als eine Methode zur Untersuchung von Aufmerksamkeitsprozessen vorgestellt. Dabei werden typische Befunde und Resultate in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition, dem Alter sowie einem zentralen Sehverlust (zSV) referiert.

**Schlüsselwörter**

visuelle Suche, zentraler Sehverlust

[1] zitiert nach Sophokles, 1986

Wie in Kapitel 4 festgestellt wurde, stellt Aufmerksamkeit ein mehrdimensionales Konstrukt dar, welches durch eine Vielzahl von Paradigmen untersucht werden kann. In der vorliegenden Arbeit wurde die visuelle Suche als Methode gewählt, um den Aspekt der Selektivität bei defekter zentraler visueller Wahrnehmung zu untersuchen.

## 5.1 Das Paradigma und seine Parameter

Bei der visuellen Suche stellt sich dem Beobachter die Aufgabe so schnell und/oder so genau wie möglich zu entscheiden, ob ein vorher definierter Zielreiz, Target genannt, in einem Suchdisplay vorhanden ist oder nicht. Der Zielreiz wird umgeben von Ablenkreizen, sogenannten Distraktoren, dargeboten. Während dieser Aufgabe werden häufig die Anzahl der Distraktoren (*Displaygröße*[2]) sowie der Stimuluskontrast des Zielreizes zu den Ablenkern (Erklärung siehe Abschnitt 6.1, S. 73) variiert. Erhoben werden meist die Reaktionszeit (Zeit von dem Erscheinen der Reize und der geforderten Antwort, z.B. Tastendruck), die Fehlerraten (einschließlich Verpasser und falsche Zurückweisungen) oder Augenbewegungsparameter (z.B. Sakkadenamplituden, Mehrfachfixierungen). Traditionell wird dabei zwischen der sogenannten *Merkmalssuche* und *Konjunktionssuche* unterschieden (Treisman & Gelade, 1980). Erstere zeichnet sich dadurch aus, dass sich das Target in *einem* Merkmal von den Distraktoren unterscheidet (Suche nach einem *schwarzen* Kreis unter *grauen* Kreisen). Das Unterscheidungsmerkmal ist hier die *Luminanz*. Bei dem zweitgenannten Typus differenziert sich das Target erst durch eine Konjunktion mindestens zweier Merkmale. Wenn etwa ein *schwarzer Kreis* unter *grauen Kreisen* und *schwarzen Vierecken* gefunden werden soll, spricht man von einer Konjunktion der Attribute *Luminanz* und *Form*. Weiterhin wird bei der Verwendung des Paradigmas unterschieden, ob die Augen zur Zielreizfindung bewegt werden dürfen oder nicht (*offene* versus *verdeckte* Suche).

[2] bei konstanter Displaygröße

### 5.1.1 Typische empirische Befunde bei der visuellen Suche

Das Paradigma der visuellen Suche wurde in zahlreichen Studien und Variationen untersucht. Ein vollständiger Überblick ist daher hier nicht angestrebt. Es werden stattdessen basale Befunde diskutiert, die als zentral für die vorliegende Arbeit angesehen werden. In Anlehnung an die vorhergehenden Kapitel, werden zunächst typische Befunde normalsichtiger, junger Probanden dargestellt. Anschließend werden visuelle Suchergebnisse in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition sowie dem Alter referiert. Abschließend folgen Befunde beim Vorliegen eines zentralen Sehverlustes (zSV).

#### Reaktionszeiten

Bezüglich der Reaktionszeitverläufe wird nach heutigen Anschauungen ein Kontinuum beschrieben, welches zwischen den Polen *parallel*, *effizient* und *seriell*, *ineffizient* aufgespannt wird.[3] Eine *effiziente* Suche zeichnet sich typischerweise durch flache Reaktionszeitkurven mit einer steigenden Displaygröße aus. Dieses Ergebnis wird daher auch als *parallele* Suche bezeichnet, da das Target unabhängig von der Anzahl der dargebotenen Items gefunden wird (vgl. Abbildung 5.1, S. 60, linke Spalte). *Effiziente* Reaktionszeitverläufe äußern sich meist unter Bedingungen mit einem hohen Stimuluskontrast (Erklärung siehe Kapitel 6). Eine *ineffiziente* Suche ist durch steigende Reaktionszeiten mit einer zunehmenden Displaygröße (*setsize* Effekt, vgl. Abbildung 5.1, S. 60, rechte Spalte) gekennzeichnet. Da sich die Reaktionszeit mit jedem zusätzlich dargebotenen Item verlängert, wird das Resultat daher auch als *serielle* Suche beschrieben. Ineffiziente Reaktionszeitverläufe äußern sich meist unter Bedingungen eines geringen Stimuluskontrastes. Die zwei Pole (*effizient* versus *ineffizient*) wurden, unter zahlreichen anderen Arbeiten, ausführlich von Treisman und ihren Kollegen beschrieben (z.B. Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Gormican, 1988). Es gibt allerdings ebenso Reaktionszeitzeitverläufe, welche weder streng *parallel* noch streng *seriell* sind und damit zwischen den Polen des Kontinuums liegen (Review siehe Wolfe, 1996). So können etwa Gruppen von Items nacheinander, also *seriell* abgesucht werden, die Gruppen per se aber *parallel* verarbeitet werden. Hier würde man von einer *teil-seriellen* Suche sprechen (Müller-Plath & Pollmann, 2003).

[3] Auf eine gesonderte Darstellung der Fehlerverläufe wird hier verzichtet, da die Probanden meist instruiert werden, so schnell und genau wie möglich zu reagieren. Sofern diese Instruktion befolgt wird, sollten Fehler- und Reaktionszeitkurven in Abhängigkeit von verschiedenen Suchbedingungen ähnlich verlaufen.

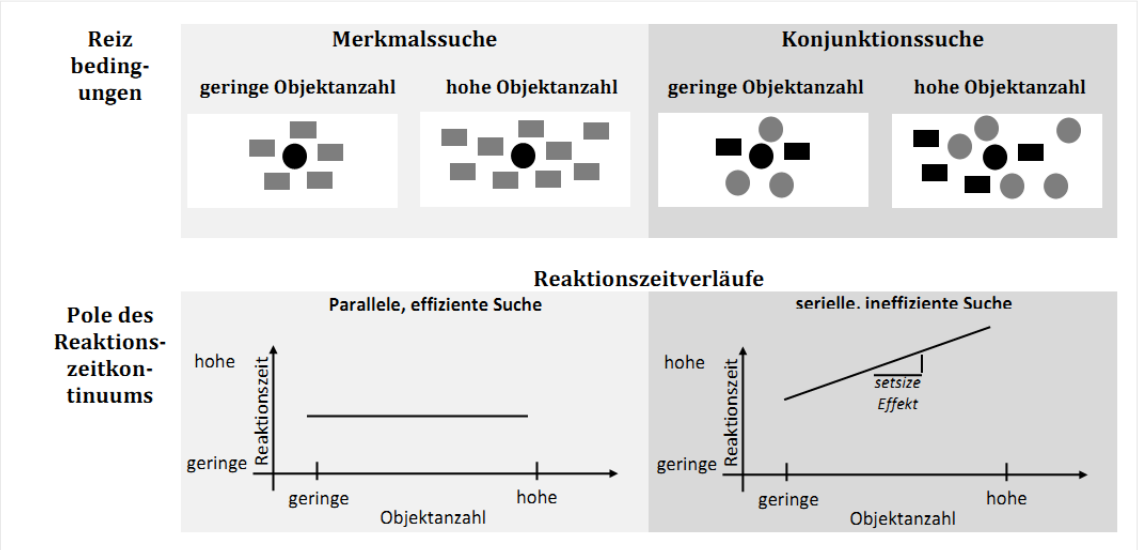



**Abbildung 5.1.:** Diese Abbildung illustriert typische Reaktionszeitverläufe für zwei visuelle Suchsituationen - Merkmalssuche (linke Spalte) und Konjunktionssuche (rechte Spalte) in Abhängigkeit von der Objektanzahl. Die erste Zeile zeigt jeweils das Suchdisplay, welches aus Reizen verschiedener Formen (Kreis oder Viereck) und Luminanzen (schwarz oder grau) besteht. Die zweite Zeile bildet die Reaktionszeitverläufe ab. Unter einer Merkmalssuche sind die Reaktionszeiten über den Faktor Objektanzahl konstant (parallele, effiziente Suche). Liegt eine Konjunktionssuche vor, steigt die Reaktionszeit mit steigender Objektanzahl an (serielle, ineffiziente Suche). Dieser Anstieg beschreibt den *setsize Effekt*. Es sei darauf hingewiesen, dass hier lediglich die Pole des Reaktionszeitkontinuums veranschaulicht sind.

### Augenbewegungsparameter

Die Augenbewegungsparameter hängen ähnlich wie die Reaktionszeiten von der visuellen Suchaufgabe ab. Es ist daher schwer, allgemeingültige Aussagen zu treffen, wie sich die einzelnen Parameter verhalten (Rayner, 1998). Was man allerdings überwiegend beobachten kann, ist der Zusammenhang zwischen Maßen der Augenbewegungen und des Stimuluskontrastes (Hooge & Erkelens, 1996, 1998; Jacobs, 1986; Näsänen et al., 2001; Moffitt, 1980; Rayner, 1998; Wienrich et al., 2009). Je höher der Stimuluskontrast war, desto kleiner wurden die Sakkadenamplituden. Weiterhin erhöhte sich der Anteil an Mehrfachfixierungen.

### 5.1.2 Visuelle Suche in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition

Interessant für diese Arbeit ist die Frage: Wie verhalten sich die oben beschriebenen Variablen (Reaktionszeiten sowie Augenbewegungen) in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren (u.a. Stimuluskontrast, Displaygröße), wenn nur die Para- oder Perifovea zur Verfügung steht, um eine visuelle Suchaufgabe zu lösen? Offenbart sich analog zur fovealen Suche ein Suchkontinuum in Abhängigkeit von den oben beschriebenen Faktoren? Zunächst erscheint klar, dass die visuelle Suche desto stärker beeinträchtigt sein sollte, je peripherer die Stimuli präsentiert werden, da die Sehschärfe vom retinalen Zentrum zur Peripherie abnimmt.

#### Reaktionszeiten

Mit einer zunehmenden Exzentrizität des Targets erhöhten sich bei einer offenen visuellen Suchaufgabe Reaktionszeiten und Fehler (Scialfa, Esau & Joffe, 1998). Dies traf nur in Suchbedingungen mit einem geringen Stimuluskontrast zu (hier Konjunktionssuche). In Suchkonditionen mit einem hohen Stimuluskontrast wurden keine Unterschiede bezüglich der Variablen in Abhängigkeit von der Exzentrizität des Targets festgestellt. Scialfa et al. (1998) demonstrierten ähnliche Ergebnisse (quantitativ noch verstärkt), wenn die Augen nicht bewegt werden durften.
Darüber hinaus konnte in zahlreichen Studien belegt werden, dass die para- und perifoveale Wahrnehmung einen Einfluss auf die foveale Wahrnehmung hat (Bertera & Rayner, 2000; Findlay & Gilchrist, 1998; Pomplun, Reingold & Shen, 2001). So zeigten sich Effekte von Bahnungs- und Maskierungreizen, welche para- oder perifoveal dargeboten wurden (Pomplun et al., 2001). Bertera und Rayner (2000) manipulierten ferner den peripher sichtbaren Bereich mit Hilfe der *moving window* Technik (Tabelle 3.2.1, S. 28) und stellten fest, dass sich die Reaktionszeit verringert, wenn das Fenster größer eingestellt ist (Spanne: 1.0° bis 5.7°), wobei eine Asymptote bei einer Ausdehnung von 5° erreicht wurde.

#### Augenbewegungen

Über die Veränderung von Augenbewegungsparametern in Abhängigkeit von der retinalen Position wurde schon ausführlich im letzten Kapitel berichtet (Kapitel 3). Darüber hinausgehend stellten Findlay und Gilchrist (1998) fest, dass exzentrisch dargebotene Distraktoren die Bewegungen der Augen und damit das Finden eines Targets beeinflussen. Die Autoren schlossen aus diesen Resultaten, dass auch die Okulomotorik von visuellem Input aus der Peripherie beeinflusst werden kann. In der bereits erwähnten Studie von Bertera und Rayner (2000) nahmen die Sakkadenamplituden mit der Größe des *moving*

*window* (Tabelle 3.2.1, S. 28) zu. Gerade diese Zunahme der Sakkadenamplituden deuten auf Veränderungsprozesse bei non-fovealer Wahrnehmung hin (vgl. Abschnitt 6.3, S. 81).

### 5.1.3 Visuelle Suche in Abhängigkeit vom Alter

#### Reaktionszeiten

Es zeigte sich konsistent, dass ältere Beobachter visuelle Suchaufgaben langsamer lösen als jüngere (z.B. Carrasco, Ling & Read, 2004; Davis, Fujawa & Shikano, 2002). Ähnlich wie jüngere Betrachter stiegen die Reaktionszeiten mit einer zunehmenden Displaygröße und mit sinkendem Stimuluskontrast an. In einigen Studien stellte sich der *setsize* Effekt verstärkt mit zunehmenden Alter heraus (z.B. Davis et al., 2002; Scialfa et al., 1998). Im Gegensatz dazu sind die Ergebnisse bezüglich der Genauigkeit nicht so eindeutig. Während Batsakes und Fisk (2000) eine konservativere Entscheidungsneigung beziehungsweise einen *speed-accuracy trade-off* in dem Sinne fanden, dass ältere Probanden sehr genau, aber langsam antworteten (z.B. Plude & Doussard-Roosevelt, 1989), berichteten Madden, Gottlob und Allen (1999) eine geringere Sensitivität in einer Signal-Entdeckungsaufgabe.

#### Augenbewegungen

Auch die Veränderung der Augenbewegungen in Abhängigkeit vom Alter wurden in Kapitel 3 schon ausführlich behandelt. In Kürze seien hier noch folgende Befunde referiert: Maltz und Shinar (1999) berichteten kürzere Sakkadenamplituden mit zunehmenden Alter, wenn der Stimuluskontrast geringer wurde. Diese Ergebnisse konnten in einer *change detection* Aufgabe bestätigt werden (Veiel et al., 2006).

### 5.1.4 Visuelle Suche mit Zentralskotomen

Tabelle 5.1 (S. 70) gibt einen Überblick über visuelle Suchbefunde bei zSV. Es wurden Studien eingeschlossen, die Hinweise auf Veränderungen in Abhängigkeit der Displaygröße oder des Stimuluskontrastes liefern. Diese Recherche beinhaltet Studien, die bis Ende 2013 veröffentlicht worden sind. Sie garantiert keine Vollständigkeit.

### Reaktionszeiten

Untersuchungen mit zentralen Skotomen (simulierte oder natürliche) demonstrierten eine beeinträchtigte visuelle Suche. Ein konsistentes Muster ergab sich bezüglich der Reaktionszeit und Genauigkeit. Wenn Informationen vom zentralen Gesichtsfeld nicht zur Verfügung standen, wurden visuelle Suchaufgaben langsamer und ungenauer gelöst, als wenn foveale Informationen genutzt werden konnten (Bertera, 1988; Fuhr, Liu & Kuyk, 2007; Luo, Satgunam & Peli, 2012; MacKeben & Fletcher, 2011; Miellet, Zhou, He, Rodger & Caldara, 2010).
Bertera und Rayner (2000) maskierten den zentralen Sichtbereich während einer Suchaufgabe nach einem Buchstaben. Je größer die zentrale Maske war (Spanne: .3° bis 3.0°), desto langsamer und ungenauer war die Suche. Die Autoren konkludierten, dass für diese Suchaufgabe eine para- oder perifoveale Targeterkennung ineffizienter als eine foveale ist, und dass die Maskierung von fovealen Gebieten einen größeren Einfluss hat als die Reduzierung des para- und perifovealen Bereiches. Ich möchte aber die Arbeit von Coeckelbergh et al. (2002) erwähnen, welche keine Unterschiede zwischen AMD Patienten und gesunden Beobachtern fand.
Uneindeutig sind die bisherigen Ergebnisse bezüglich der Frage, ob ein volles Suchkontinuum aufgespannt werden kann, wenn ein zSV vorliegt. Knoblauch, Mazoyer, Koenig und Vital-Durand (2001) schlussfolgerten aus ihren Daten, dass AMD Patienten nicht in der Lage sind, ein visuelles Display mit einem einzigen Blick zu erfassen und stets auf eine serielle Suche angewiesen sind. Im Gegensatz dazu demonstrierten Kuyk, Liu und Fuhr (2005) zumindest eine parallele Suche von Objektgruppen (teil-serielle Suche).

### Augenbewegungen

In Kapitel 3 wurden die Veränderungen von Augenbewegungsparametern beim Vorliegen eines zSV bereits ausführlich dargelegt. An dieser Stelle sei das Augenmerk auf Studien gerichtet, die Hinweise darauf geben, dass nicht jede Patienten- oder Skotomgruppe gleichartige Anpassungen zeigt. Cornelissen et al. (2005) simulierten Zentralskotome mit zwei Abstufungen der Opazität (semi-opak versus opak) sowie mit drei Größenabstufungen. Sie präsentierten eine Merkmalssuche mit zwei Stufen des Stimuluskontrastes und untersuchten Reaktionszeiten und Augenbewegungen. Sie beobachteten steigende Sakkadenamplituden mit sinkendem Stimuluskontrast in der opaken Skotomgruppe, nicht aber in der semi-opaken Skotomgruppe oder bei den Kontrollprobanden ohne Skotom. Zudem stieg der Anteil der Mehrfachfixierungen. McMahon et al. (1991) berichteten darüber hinaus unterschiedliche Sakkadenmuster für verschiedene Patienten. Gleichmäßige Sakkaden würden von AMD Patienten gezeigt, welche mit einer alternativen Retinastelle fixierten, wohingegen ruckartige Sakkaden von Patienten gezeigt würden, welche zwischen mehre-

ren PRLs hin und her springen. Daraus ergibt sich unmittelbar die Frage, inwiefern der Fortschritt des zSV einen Einfluss auf Veränderungen des Blick- und Suchverhaltens hat. Da es nur wenige Studien gibt, welche das visuelle Suchverhalten in Abhängigkeit vom Progress des zSV explizit untersucht haben, muss sie zunächst unbeantwortet bleiben.

## 5.2 Resümee für die vorliegende Arbeit

Zusammengefasst liefern die Befunde zur visuellen Suche beim Vorliegen eines zSV kein einheitliches Muster. Einige wenige Studien brachten unterschiedliche Suchverläufe in Abhängigkeit vom Progress des zSV hervor. In der vorliegenden Arbeit wird genau dieser Punkt aufgegriffen. Mit Hilfe von Salienzmodellen versuche ich Vorhersagen für Suchverläufe in Abhängigkeit vom Progress des zSV abzuleiten (detaillierter im nächsten Kapitel).

**Tabelle 5.1.:**
Überblick über Studien zum Thema visuelle Suche mit zSV

| Quelle | Ziel | Aufgabe | Unabhängige Variablen | Abhängige Variablen | Ergebnisse | Diskussion |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *Visuelle Suche mit simuliertem zSV* | | | |
| [1] | Effekt eines simulierten zSV auf RZ & AB | Visuelle Suche (*Landolt C*) | Gruppe (Skotom (n=12) vs. kein Skotom (n=11))<br>Targetgröße (klein vs. groß)<br>Displaydichte (gering vs. hoch)<br>Displaykontrast (gering vs. hoch) | RZ<br>Fixationsdauer<br>Sakkadenamplitude | höhere RZ in Skotomgruppe<br>steigende RZ mit sinkendem Stimuluskontrast<br>längere Fixationsdauern in Skotomgruppe<br>längere Fixationsdauern mit sinkendem Stimuluskontrast<br>kein Effekt der Sakkadenlänge | langsamere Reaktionen mit zSV<br>keine Veränderung der Sakkaden-amplituden (in keiner Gruppe) |
| [2] | Fixations- & Sakka-denmuster bei zSV | Visuelle Suche (Target: O, Dis-traktor: C) | Gruppe (4 Skotomgrößen & 2 Skotomdichten (semi-opak vs. opak) (n=7))<br>Stimuluskontrast (4 Lückengrößen des Cs)<br>Displaykontrast (gering vs. hoch) | RZ<br>Fixationsdauer<br>Fixationsanzahl<br>Sakkadenamplitude<br>Refixationen<br>Sakkadenrichtung | steigende RZ & Fixationsdauer sowie irregulärere Sakkadenmuster mit steigender Skotomgröße<br>größere Sakkadenamplituden & mehr Refixationen sowie irregulärere Sakkadenmuster in Gruppe mit opakem Skotom | zu kurze Fixationsdauern könnten für Probanden mit zSV maladaptiv sein |

**Tabelle 5.1.:**
Überblick über Studien zum Thema visuelle Suche mit zSV (Fortsetzung)

| Quelle | Ziel | Aufgabe | Unabhängige Variablen | Abhängige Variablen | Ergebnisse | Diskussion |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [3] | Identifikation kompensatorischer Sehstrategien bei zSV | Visuelle Suche (Target: O, Distraktor: C)<br>Zählaufgabe | Gruppe (zentraler (n=15) vs. peripherer SV (n=35) vs. Kontrollen (n nicht berichtet))<br>Lücke des Cs (2 Größen)<br>Anzahl der Zählitems (19, 20 oder 21) | RZ<br>Fixationsdauer<br>Fixationsanzahl<br>Sakkadenamplitude<br>Refixationen<br>Sakkadenrichtung<br>Fahrleistung | keine Gruppenunterschiede in RZ<br>keine Gruppenunterschiede in der Fixationsdauer<br>keine Gruppenunterschiede in der Sakkadenlänge<br>weniger Refixationen in Gruppe mit zentralen Defiziten vs. Kontrollgruppe<br>keine Korrelation zwischen AB und Fahrleistung | adaptierte Suchstrategie mit zSV<br>AB keine Prädiktoren für Fahrleistung |

**Tabelle 5.1.:**
Überblick über Studien zum Thema visuelle Suche mit zSV (Fortsetzung)

| Quelle | Ziel | Aufgabe | Unabhängige Variablen | Abhängige Variablen | Ergebnisse | Diskussion |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *Visuelle Suche mit AMD Patienten* | | | |
| [4] (vgl. [6]) | Beziehung zwischen visueller Suche und Mobilität | Visuelle Suche (Target: großes Rechteck, Distraktor: kleines Rechteck)<br>Mobilitätsaufgabe | Gruppe (visuell beinträchtigt (n=44; $n_{AMD} = 32$) vs. Kontrollen (n=24))<br>*setsize* (8, 16, 32)<br>Displaygröße (10°, 20°, 40°)<br>Targetpräsenz (ja vs. nein) | RZ<br>FR | längere RZ in Patientengruppe<br>keine *setsize* Effekte<br>größerer Effekt der Displaygröße in Patientengruppe<br>ähnliche FR in beiden Gruppen | RZ bei einer Merkmalssuche ist ein guter Prädiktor für die Mobilität von Patienten |
| [5] | Parallele Suche mit zSV | Visuelle Suche (Target: anders farbiger Kreis, Distraktor: farbiger Kreis) | Gruppe (AMD (n=4) vs. Kontrollen (n=15; $n_{young} = 7$; $n_{old} = 8$))<br>Stimuluskontrast (3 Stufen des Farbkontrasts)<br>*setsize* (2 vs. 8)<br>Abstände (0 vs. 5 Items)<br>Targetpräsenz (ja vs. nein) | RZ<br>FR | steigende RZ mit steigendem Itemabstand in AMD Gruppe<br>keine *setsize* Effekte | räumliche Unsicherheit bei AMD Patienten führt zu langen RZ<br>keine parallele Suche in AMD Patienten |

**Tabelle 5.1.:**
Überblick über Studien zum Thema visuelle Suche mit zSV (Fortsetzung)

| Quelle | Ziel | Aufgabe | Unabhängige Variablen | Abhängige Variablen | Ergebnisse | Diskussion |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [6] | Merkmalssuche mit zSV | Visuelle Suche (Target: großes Rechteck, Distraktor: kleines Rechteck) | Gruppe (visuelle beinträchtigt (n=49; $n_{AMD}$ = nicht berichtet) vs. Kontrollen (n=24)) *setsize* (8, 16, 32) Displaygröße (10°, 20°, 40°) Targetpräsenz (ja vs. nein) | RZ FR | längere RZ in Patientengruppe größerer Effekt der Displaygröße in Patientengruppe ähnliche FR in beiden Gruppen | Patienten mit visuellen Defiziten zeigen eine pseudo-parallele Suche der serielle Anteil könnte Sakkaden aus dem degenerierten retinalen Bereichen in intakte Bereiche widerspiegeln |
| [7] (vgl. [6]) | Effekte eines visuellen Suchtrainings auf die Mobilität von visuelle beeinträchtigten Leuten | Visuelle Suche (Target: großes Rechteck, Distraktor: kleines Rechteck) | Gruppe (trainiert (n=42) vs. untrainiert (n=36)) *setsize* (8, 16, 32) Displaygröße (10°, 20°40°) Targetpräsenz (ja vs. nein) Lichtbedingung beim Mobilitätstest (hell vs. gedimmt) | RZ FR RZ Mobilitätstest Anzahl von Wandkontakten Mobilitätstest | Trainierte schneller als Untrainierte kein Effekt des Trainings auf FR Trainierte (leicht) schneller in Mobilitätstest als Untrainierte Trainierte weniger Wandkontakte als Untrainierte | parallele Suche in beiden Gruppen visuelle Suchleistung von Patienten mit zSV kann trainiert werden Transfereffekt auf komplexe Mobilitätsaufgabe |

**Tabelle 5.1.:**
Überblick über Studien zum Thema visuelle Suche mit zSV (Fortsetzung)

| Quelle | Ziel | Aufgabe | Unabhängige Variablen | Abhängige Variablen | Ergebnisse | Diskussion |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [8] | Visuelle Suche in natürlichen Szenen mit zSV | Visuelle Suche (Target-entdeckung auf Photografien) | Gruppe (visuell beeinträchtigt (n=19; $n_{AMD} = 11$) vs. Kontrollen (n=7)) Bildart (Gesichter vs.Innenräume vs. Collagen) Bildvergrößerung (ja vs. nein) | RZ FR | schlechtere Suchleistung (langsamere RTs and höhere FRs) in Patientengruppe längere RZ für Gesichter in beiden Gruppen höhere FR für Gesichter in Patientengruppe bessere Suchleistung bei Bildvergrößerung für Innenräume und Collagen in Patientengruppe | Suche nach Gesichtern (Feinheiten) am stärksten beeinträchtigt in Patienten-gruppe Bildvergrößerung verbessert die Suchleistung auf Bildern mit *gröberen* Inhalten |
| [9] | Assessment visueller Beeinträch-tigung | Visuelle Suche (Tar-get= Landolt-Item, Distrak-tor=Kreise) Leseaufgabe | Gruppe (visuell beeinträchtigt (n=135; $n_{AMD} = 97$) vs. Kontrollen (n=30)) Exzentrizität( 2° vs. 4° vs. 6° vs. 8°) | RZ FR | schlechtere Suchleistung (langsamere RTs and höhere FRs) in Patientengruppe schlechteste Testleistung für AMD-Untergruppe langsamste RTs für Patienten mit großem zSV größte Korrelation zwischen visueller Such- und Leseaufgabe geringe Korrelation zwischen Sehschärfe und Leseaufgabe | visuelle Suchaufgabe gutes Assess-mentwerkzeug ähnliche Adaptionsme-chanismen in Such- und Leseaufgaben |

**Tabelle 5.1.:**
Überblick über Studien zum Thema visuelle Suche mit zSV (Fortsetzung)

| Quelle | Ziel | Aufgabe | Unabhängige Variablen | Abhängige Variablen | Ergebnisse | Diskussion |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [10] | Sakkaden-charakteristika bei zSV | Fixations-aufgabe (helles Target auf dunklem Display) | Gruppe (AMD (n=18) vs. Kontrollen (n=18)) | Sakkaden-charakteristik (*foveating* vs. *non-foveating*)<br>Sakkaden-genauigkeit<br>Sakkaden-geschwindigkeit<br>Sakkadendauer | erste Sakkade in PRL<br>längere Sakkaden in AMD Gruppe<br>*non-foveating* Sakkaden in AMD Gruppe<br>geringere Sakkaden-genauigkeit in AMD Gruppe<br>längere Zeit zur Sakkadeninitiierung in AMD Gruppe | Tendenz, zentral zu fixieren, wird von AMD Patienten unterdrückt<br>Fixation mit PRL<br>Sakkaden in AMD Gruppe weisen einen *non-foveating* Charakter auf |

*AB*: Augenbewegung; n: Stichprobengröße in Einzelgruppen; N: Gesamtstichprobengröße; *RZ*: Reaktionszeit
*FR*: Fehlerraten; *PRL*: *preferred retinal locus*; *zSV*: zentraler Sehverlust
[1]Bertera, 1988; [2]Cornelissen et al., 2005; [3]Coeckelbergh et al., 2002; [4]; Fuhr et al., 2007; [5]Knoblauch et al., 2001; [6]Kuyk et al., 2005 [7]Kuyk, Liu, Elliott & Fuhr, 2010; [8]Luo et al., 2012; [9]MacKeben & Fletcher, 2011
[10]Whittaker et al., 1991

**Abkürzungen**

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

PRL: *preferred retinal locus*

zSV: zentraler Sehverlust

# 6

# Vorhersagen für Suchverläufe in Abhängigkeit vom Progress eines zentralen Sehverlustes

*[...], we may view the mind's eye as analogous to the body's eye: It has a field of concentrated processing like the fovea, and it is free to traverse a wide range of available spatial locations.* (Jonides, 1983, S.250)

**Zusammenfassung**

In diesem Kapitel werden Modelle (*Guided Search*; *Strategien visueller Suche*; *Modell der Sakkadengenerierung*) zusammengefasst, welche Vorhersagen zu visuellen Suchergebnissen und entsprechenden Augenbewegungsparametern auf der Basis von Salienzkarten treffen. Die Vorhersagen, zusammengeführt und abgeleitet von diesen Modellen, werden auf die Fälle einer eingeschränkten bzw. defekten fovealen Wahrnehmung erweitert. In diesem Zusammenhang werden zwei konkurrierende theoretische Vorstellungen (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*) präsentiert, welche in der vorliegende Arbeit geprüft werden sollen.

**Schlüsselwörter**

visuelle Suche, Salienzkartenmodelle, zentraler Sehverlust, retinale Mechanismen

## 6.1 Salienz

Eng mit den angerissenen Debatten verknüpft und zentral in der vorliegenden Arbeit ist der Begriff der *Salienz*. Das Wort *Salienz* stammt von dem lateinischen Wort *salire* ab, was soviel bedeutet wie „hüpfen“, „springen“. Folgt man der Übersetzung des englischen Wortes *salience*, „hervorspringen“, wird einem die Bedeutung, die der Begriff in der Wahrnehmungspsychologie einnimmt, klarer. *Salienz* bedeutet in diesem Kontext, dass ein Stimulus „auffällig“, aus seinem Kontext „hervorgehoben“ ist und „ins Auge springt“. In der psychologischen Literatur werden zwei Merkmalsklassen unterschieden, die einem salienten Reiz zugeordnet werden können. Auf der einen Seite können es physikalische Merkmalsauffälligkeiten sein, also solche Merkmale, welche unabhängig von den inneren Zuständen (wie z.B. Ziele) einer Person zu der Wahrnehmung von Stimuli führen. Als Beispiele werde dafür häufig Farben oder Bewegungen aufgezählt. Dieser Ansatz entspricht dem *bottom-up* Ansatz, welcher zuvor im Zusammenhang mit Aufmerksamkeit dargestellt wurde (vgl. Abschnitt 4.1.5, S. 49). Auf dieser Bedeutungsebene würde der Salienzwert demnach rein durch die physikalischen Merkmale eines Reizes bestimmt werden. Hier stellt sich allerdings unmittelbar die Frage, wie dies ohne einen Wahrnehmungsapparat objektiv zu messen sei. Zwar kann man beispielsweise eine Farbe durch die entsprechende Wellenlänge physikalisch beschreiben, die Farbwahrnehmung und -benennung erfolgt jedoch subjektiv über den menschlichen Wahrnehmungsapparat. So werden Reize als salient bezeichnet, wenn sie *leicht* erkannt werden. Ebenso wird ausgesagt, dass Reize *leicht* erkannt werden, wenn sie salient sind. Es erschließt sich unmittelbar, dass diese tautologische Verwendung des Begriffes Salienz keinen Erklärungswert besitzt (Müller-Plath, 2014; persönliche Kommunikation).
Auf der anderen Seite können ebenso endogene Zustände des Beobachters dazu führen, dass ein Reiz als salient wahrgenommen wird. Dies entspricht der *top-down* Perspektive, welche vormals dargestellt wurde (vgl., Abschnitt 4.1.5, S. 49). In dieser Anschauung würde demnach der subjektive Charakter, welcher durch die Wahrnehmung per se entsteht, zum Tragen kommen. Dem folgend erscheint eine unabhängige objektive Messung schwer möglich. Salienz würde hier den Status einer latenten Variable bzw. eines psychologischen Konstrukts einnehmen (Müller-Plath, 2014; persönliche Kommunikation).
Die vorliegende Arbeit folgt der zuletzt genannten Auffassung. Es wird angenommen, dass reizinduzierte Auffälligkeiten stets von den inneren Zuständen einer Person abhängen. Selbst, wenn ein auffälliger Reiz keine Beachtung finden soll, unterliegt er einer endogenen Bewertung. Er kann beispielsweise den Status eines Nicht-Zielreizes bekommen (z.B. Bacon & Egeth, 1994). Mit anderen Worten wird Salienz hier als psychologisches Konstrukt aufgefasst, bei dem Reizeigenschaften durch die Eigenschaften der Wahrnehmungssituation sowie des Wahrnehmenden *gewichtet* werden. Diese *Gewichtung* wird in

sogenannten und im Folgenden vorgestellten Salienzkartenmodellen formalisiert. Im Rahmen von visuellen Suchparadigmen ist mit Salienz darüber hinaus stets die Salienz des Zielreizes gemeint. Im Fortlauf der Arbeit werden diese Begriffe synonym verwendet. Weiterhin wird der Begriff des *Stimuluskontrastes* eingeführt und definiert als die physikalische Ähnlichkeit zwischen Reizen.[1] Mit anderen Worten wird in der vorliegenden Arbeit der Begriff *Salienz* verwendet, wenn die Auffälligkeit des Targets als psychologisches Konstrukt beschrieben wird. Der Begriff des *Stimuluskontrastes* wird gebraucht, wenn die Auffälligkeit des Targets als physikalische Konstrukt verwendet wird.

## 6.2 Salienzbasierte Modelle zur Beschreibung von Aufmerksamkeits- und Augenbewegungsprozessen

Es gibt zahlreiche Modelle, welche versuchen die empirischen Befunde zur visuellen Suche und damit verbundene Augenbewegungen zu erklären. Eine vollständige Darstellung kann hier nicht angestrebt werden. Im vorliegenden Kapitel werden Modelle vorgestellt, welche auf Salienzkarten basieren. Hierbei werden drei Modelle fokussiert: *Guided Search Model* (*GS*), in seiner ersten Fassung von Cave und Wolfe (1990), die *Strategien Visueller Suche* (*STRAVIS*), erarbeitet von Müller-Plath (2000) sowie das *Modell der Sakkadengenerierung* (*MSG*[2]), vorgelegt von Findlay und Gilchrist (1998). Die Modelle sind in den entsprechenden Arbeiten ausführlich dargelegt und sollen hier nicht detailliert beschrieben werden. In der vorliegenden Arbeit wird das zentrale Konzept der Salienzkarten, welches diese Modelle verbindet, zugrunde gelegt. Darüber hinaus werden einzelne Aspekte jedes Modells herausgestellt und zusammengeführt. In dem *GS* Modell wurden die Grundprinzipien der auf Salienzkarten basierenden Modelle beschrieben. Diese wurden in dem *STRAVIS* Modell durch das Konzept des Aufmerksamkeitsfokus erweitert. Das *MSG* fügt eine dynamische Komponente hinzu. Die Synapse dieser Komponenten wird im Fortlaufenden mit *salienzbasierten Modellen* bezeichnet. Mit anderen Worten werden nicht die Vorhersagen der einzelnen Modelle geprüft, sondern eine gegenseitige Ergänzung angestrebt, mit Hilfe derer Vorhersagen salienzbasierter Modelle abgeleitet werden. Außerdem wird der Zusammenhang zwischen attentionalen und okulomotorischen Salienzmodellen ergänzend zu Gesagtem in Kapitel 4 herausgestellt. Für einen detaillierten Wortlaut zur Beschreibung der Modelle sei auf die Originalarbeiten verwiesen.

[1] Diese Definition schließt die physikalische Target- Distraktor- Ähnlichkeit und die physikalische Ähnlichkeit zwischen Distraktoren ein.

[2] Die Abkürzung *MSG* für das Findly und Walker Modell ist in der Literatur nicht üblich. Sie wurde für diese Arbeit gewählt, um eine bessere Lesbarkeit herzustellen

### 6.2.1 Salienzkarten

Salienzkarten (ebenso Aktivierungskarten genannt) können als mentale Karte veranschaulicht werden. Sie existieren demnach nur als theoretische Vorstellung. Im Bereich der visuellen Suche repräsentieren sie das visuelle Feld und sind somit retinotrop (Findlay & Gilchrist, 2003). Auf jenen Karten sind Merkmale und Reize in Form von Salienzwerten (Aktivierungswerten) abgetragen, welche durch Erhebungen auf dieser Landkarte veranschaulicht werden (Abbildung 6.1, S. 79, zweite Zeile). Die Höhe jener Werte wird aus gewichteten Werten für Merkmale der Reize, Eigenschaften des Beobachters sowie Attributen der Aufgabe berechnet. Der Salienzwert eines Reizes wird demnach als gewichtete Aktivierung definiert und durch die Höhe der Erhebung auf der Landkarte veranschaulicht. In einer visuellen Suche bekommen Targets und Distraktoren demnach gewisse Salienzwerte, welche auf der Landschaftskarte durch verschiedene Erhebungen veranschaulicht werden. Diese Werte sind keine Konstanten, sondern unterliegen durch Rauschen einer gewissen Variabilität.

### 6.2.2 Die Größe des Aufmerksamkeitsfokus

Die Effizienz der visuellen Suche wurde in den verschiedenen Modellen unterschiedlich modelliert. Während im *GS* 2.0 die Werte auf den Salienzkarten lediglich durch Zufallsrauschen eine Verteilung mit Varianz über deren Lage und Breite direkt die Effizienz der visuellen Suche modelliert wird, wird in *STRAVIS* aus der Lage und Breite dieser Verteilung ein weiteres Konzept, die Reichweite der Aufmerksamkeit, berechnet. Sie wird als „[...] Radius einer Umgebung des Zielobjektes in der *Aktivierungskarte*, in der die Zielreiz-Aktivierung größer ist als alle Ablenker-Aktivierungen.“ definiert (Müller-Plath, 2000, S.38, Hervorhebung im Orginal). Um die Metapher von oben aufzugreifen, gibt es auf der Landkarte eine besondere Zone, welche sich um die Erhebung des Targets ausbreitet und innerhalb derer Aufmerksamkeit „[...] zuverlässig arbeitet“(Müller-Plath, 2000, S.37) und damit der Zielreiz gefunden wird. Diese Zone ist groß, wenn sich die anfänglichen[3] Aktivierungswerte von Target und Distraktoren deutlich voneinander unterscheiden bzw. die Erhebung des Targets größer ist als die der Distraktoren. Je mehr sich diese Aktivierungen annähern, desto mehr steigt die Wahrscheinlichkeit, dass durch den Einfluss des Rauschens auch an den Positionen der Distraktoren die größte Aktivierung ist. Die Zone sollte also kleiner werden. Wie groß diese Zone dann tatsächlichen in einer Suchsituation eingestellt wird, beschreibt die Größe des Aufmerksamkeitsfokus (Abbildung 6.1, S. 79,

[3]Mit *anfänglich* sind hier die Aktivierungswerte gemeint, welche theoretisch vor der Zuteilung von Aufmerksamkeit vorliegen. Dies soll als Hilfskonstrukt dienen, um den Stellenwert einer angepassten Aufmerksamkeitszuteilung zu verdeutlichen

dritte Zeile). Ziel der Anpassung der Größe des Aufmerksamkeitsfokus ist es, die Salienz des Targets[4] in einer beachteten Zone so groß zu machen, dass es effektiv gefunden werden kann (Abbildung 6.1, S. 79, vierte Zeile).
In *STRAVIS* werden zusätzlich zur Größe des Aufmerksamkeitsfokus zeitliche Parameter (z.B. die Verweildauer) definiert. Außerdem wird eine mathematische Berechnung der eingeführten Konstrukte angeboten. Da diese Punkte in der vorliegenden Arbeit nicht vordergründig sind, sei auf eine ausführliche Darstellung in Müller-Plath (2000) oder in Müller-Plath und Pollmann (2003) verwiesen.

### Manipulation der Größe des Aufmerksamkeitsfokus

Die Einstellung der Größe des Aufmerksamkeitsfokus scheint nicht in jeder Wahrnehmungssituation den „gleichen“ Nutzen zu bringen.[5] Um den Nutzen bzw. Kosten einer bestimmten Fokusgröße einschätzen zu können, müsste man die Größe experimentell variieren und entsprechende Leistungsmaße (z.B. Reaktionszeiten) vergleichen. Da der Aufmerksamkeitsfokus ein mentales Konstrukt ist, kann man ihn nicht direkt manipulieren. Dennoch kann man versuchen Bedingungen herzustellen, in denen eine kleine bzw. große Fokusgröße wahrscheinlicher ist. Im Folgenden seien einige Manipulationsmethoden beschrieben, die für das spätere experimentelle Vorgehen der vorliegenden Arbeit relevant erscheinen. Diese Methoden werden im Feld der verdeckten visuellen Suche verwendet. Einige Vorgehensweisen versuchen durch die Aufgabenstellung unterschiedliche Fokusgrößen zu erzeugen. Kleine Größen werden dadurch erzeugt, dass Zielreize nur in einem engen Bereich des Display erscheinen können. Große Foki werden hervorgerufen, indem Zielreize in einem weiten Bereich des Displays erscheinen können. Es können dann die Leistungen unter diesen beiden Bedingungen verglichen werden und daraus Aussagen über das Gelingen der Manipulation und die Adaptivität der Fokuseinstellung geschlossen werden. Im Folgenden sei eine dieser Vorgehensweisen exemplarisch genauer beschrieben, da diese später in der vorliegenden Arbeit ähnlich angewandt wurde. Müller-Plath und Elsner (2007) präsentierten vier konzentrische Kreise. Targets konnten nur innerhalb relevanter Kreisen auftauchen. Wenn der innerste Kreis relevant war, dann konnte ein Target nur innerhalb dieses Kreises erscheinen. Wenn hingegen der nächst äußere Kreis relevant war, konnte ein Target innerhalb des innersten und des nächst größeren Kreises erscheinen. Die Größe des Aufmerksamkeitsfokus sollte der Ausdehnung der jeweils relevanten Kreise entsprechen. Mit der Idee, dass sich die Versuchspersonen auf eine Größe über mehrere

[4] Die Aktivierungswerte, welche theoretisch nach der Zuteilung von Aufmerksamkeit vorliegen, wurden hier mit *fein abgestimmt* bezeichnet. Dies hat ebenfalls den Stellenwert eines Hilfskonstruktes.
[5] Eine große Fokusgröße in einer Situation kann einen hohen Nutzen haben, während sie in einer anderen Situation hohe Kosten verursachen kann.

Durchgänge hinweg einstellen können, wurde den Probanden vor jeden Durchgang mitgeteilt, innerhalb welchen Kreises ein Zielreiz erscheinen kann. Das bestimmte die Relevanz des Kreises und blieb über mehrere Durchgänge hinweg konstant (geblockte Darbietung). Diese (und auch andere) Manipulationen der Fokusgröße legen die Annahme zugrunde, dass der Aufmerksamkeitsfokus (oder jenem ähnliche Metaphern) einem zusammenhängenden mentalen Konstrukt entspricht. Mehrere kleine Foki sind also ebenso in dieser Vorstellung vorgesehen wie eine Verteilung ohne Zentrum. Schon Eriksen und James (1986) kontrastierten den Ansatz multipler Foki (*multi-focus attentional approach*) zu dem eines uniformen Fokus (*single-focus attentional approach*). Der erst genannte Ansatz beschreibt eine simultane Verteilung von Aufmerksamkeit auf verschiedenen Positionen des visuellen Feldes. Im Gegensatz dazu geht der Ansatz eines uniformen Fokus davon aus, dass Aufmerksamkeit zu einem Zeitpunkt nur auf einer Position im visuellen Feld sein kann. Zu unterschiedlichen Zeitpunkten können die Fokusgrößen allerdings unterschiedlich groß sein.

In offenen visuellen Suchaufgaben, in der Augenbewegungen mit Aufmerksamkeitsprozessen, genauer Sakkadenamplituden, mit der Größe des Aufmerksamkeitsfokus (vgl. Abschnitt 4.4, S. 55) in Verbindung gebracht werden, stellt sich diese Frage nicht. Sakkaden können nur an einer Position pro Zeit sein. Damit wird der Aufmerksamkeitsfokus hier in der Regel als uniformes Gebilde veranschaulicht.

Für verdeckte visuelle Suchaufgaben gibt es im Gegensatz dazu bis in die heutige Zeit empirische Befunde für beide Ansätze (multiple Foki: z.B. Awh & Pashler, 2000; Malinowski, Fuchs & Müller, 2007; uniformer Fokus: z.B. Eriksen & James, 1986; McCormick, Klein & Johnston, 1998). Feng und Spence (2013) vermuteten daher, dass die jeweilige Erscheinung (multiple versus uniform) ein Resultat der experimentellen Bedingungen ist und schlagen einen Ansatz vor, welcher beide Ansätze mehr vereint betrachtet denn einander ausschließend. Wenn die zu beachtenden Bereiche räumlich nahe beieinander liegen und die Wichtigkeit dieser Bereiche als ähnlich zu gewichteten ist (ähnliche Salienzwerte an allen Positionen), sollte sich vereinfacht wiedergegeben ein uniformer Aufmerksamkeitsfokus ergeben. Dieser kann entweder durch einen großen uniformen Fokus veranschaulicht werden oder durch multiple Foki, welche sich überschneiden und daher nicht voneinander zu trennen sind (Feng & Spence, 2013, S.5). Auch andere Arbeiten weisen darauf hin, dass das Auftreten eines uniformen Fokus oder multipler Foki von den experimentellen Bedingungen abhängt (z.B. Jefferies, Enns & Di Lollo, 2014). Zusammenfassend scheint es experimentelle Vorgehensweisen im Feld der verdeckten visuellen Suche zu geben, bei denen man einen uniformen Aufmerksamkeitsfokus erzeugen kann.

In dieser Arbeit wurde dieser Ansatz aufgegriffen und durch die experimentellen Manipulationen versucht, einen uniformen Fokus zu erzeugen. In Analogie zu der Definition des Aufmerksamkeitsfokus von Müller-Plath (2000) wurde der Fokus weiterhin als uniformes Gebilde angenommen. In den Experimenten, in denen eine offene visuelle Suche durchgeführt wurde (Experiment 1 und 3), wurde der Aufmerksamkeitsfokus mit Augenbewegungen in Verbindung gebracht und auf diese Weise als uniformes Gebilde definiert. In den Experimenten mit einer verdeckten visuellen Suche (Experimente 2 und 4) konnten Zielreize innerhalb eines bestimmten Bereiches überall gleich häufig auftauchen. Dies sollte in Anlehnung an das eben Gesagte dazu führen, dass dieses Gebiet mit einem uniformen Fokus abgesucht wird. Detaillierte Beschreibungen bezüglich der experimentellen Umsetzung sind den Methodenteilen der Experimente zu entnehmen.

### 6.2.3 Verbindung okulomotorischer und attentionaler Salienzmodelle

In den vorangegangen Beschreibungen standen attentionale Prozesse im Vordergrund. Die Ausführungen lassen sich aber ebenso auf die Initiierung von Augenbewegungen in einer visuellen Suche übertragen. Auch bei Modellen, welche sich auf die Okulomotorik beziehen, werden Salienzwerte auf Karten abgetragen und als Erhebungen auf einer Landkarte veranschaulicht. Während sowohl das *GS* als auch *STRAVIS* (attentionale Modelle) eine Variabilät der Target- und Distraktoraktivierungen über verschiedene Durchgänge einer visuellen Suche hinweg beschreiben, wird in dem *MSG* eine Dynamik innerhalb eines Suchdurchgangs beschrieben. Jene entsteht durch die Ausführung von Sakkaden, durch welche sich die Salienzwerte (Aktivierungswerte) ständig verändern. Um das eben Gesagte mit dieser Dynamik in Einklang zu bringen, müsste man sich eine dynamische Landkarte vorstellen, die zu einem Zeitpunkt eingefroren wird (Abbildung 6.1, S. 79, fünfte Zeile). Sakkaden würden sich in einer visuellen Suche zu diesem Zeitpunkt auf die Objekte mit den größten Aktivierungsgewichten richten (Findlay & Gilchrist, 1998).

Über die Verbindungen zwischen attentionalen und okulomotorischen Salienzmodellen hinaus wurden in einigen Studien Verbindungen zwischen Augenbewegungsparametern und attentionalen Konstrukten gezogen (z.B. Müller-Plath, 2008; Wienrich et al., 2009) bzw. Augenbewegungsparameter als messbare Größen für die (nur theoretisch existierenden) attentionalen Konstrukte herangezogen. So ließ sich beispielsweise die Sakkadenamplitude mit der Größe des Aufmerksamkeitsfokus verknüpfen. Je größer die Sakkadenamplituden ist, desto größer ist der Aufmerksamkeitsfokus. Mehrfachfixierungen konnten mit der Systematik der Suche verbunden werden. Je mehr Mehrfachfixierungen beobachtet werden, desto unsystematischer ist die Suche.

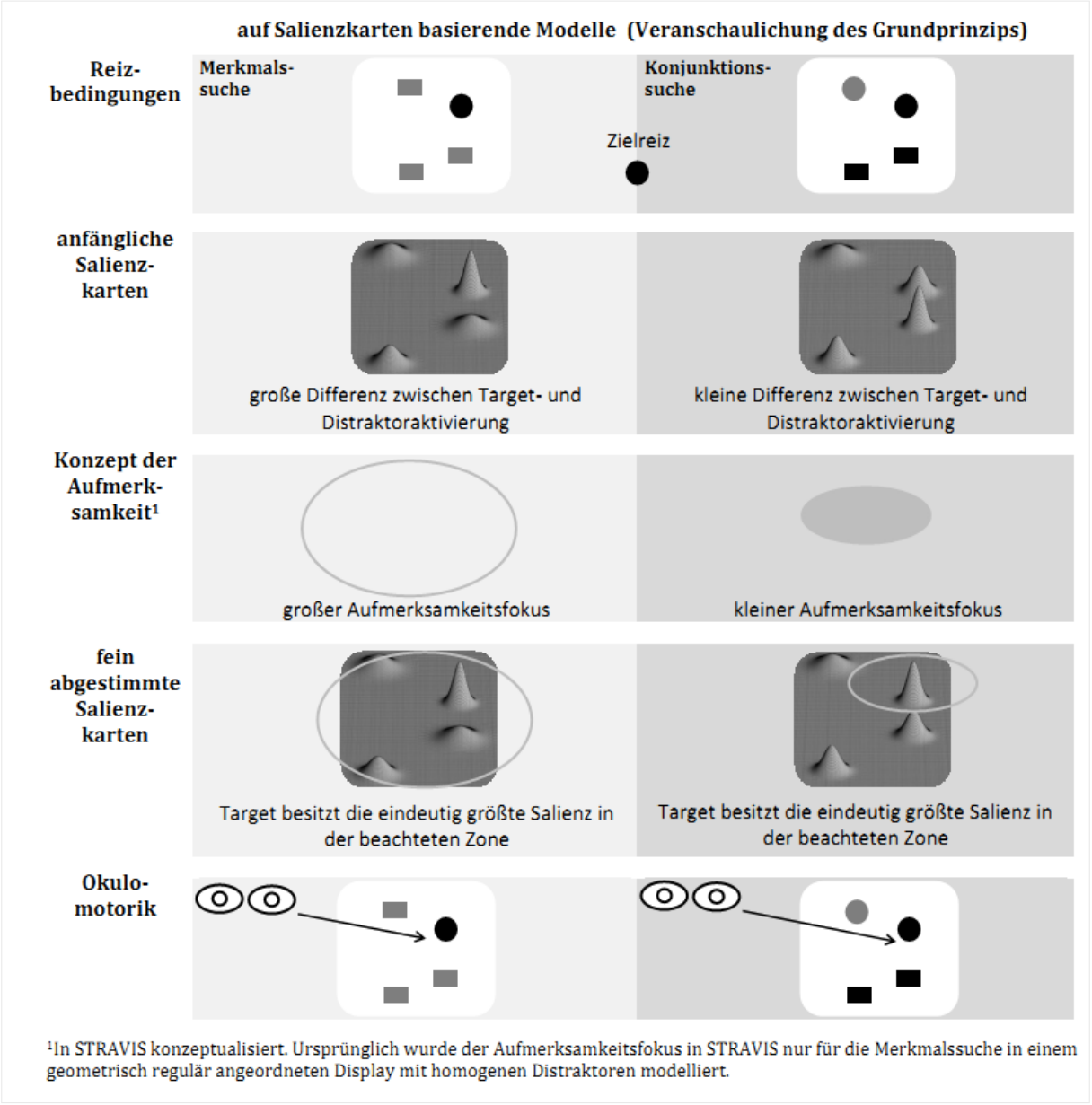



**Abbildung 6.1.:** Diese Abbildung illustriert die wichtigsten Modellvorhersagen salienzkartenbasierter Modelle für zwei visuelle Suchsituationen - Merkmalssuche (linke Spalte) und Konjunktionssuche (rechte Spalte). Die erste Zeile zeigt jeweils das Suchdisplay, welches aus Reizen verschiedener Formen (Kreis oder Viereck) und Luminanzen (schwarz oder grau) besteht. Die zweite Zeile beschreibt wesentliche Modellvorhersagen bzgl. der Ausbildung anfänglicher Salienzkarten für die dargebotenen Reizbedingungen. Die Höhe der *Salienzhügel*korrespondieren mit der Aktivierungsstärke. Die dritte Zeile bebildert das Konzept der Aufmerksamkeit wie es in dem *STRAVIS* Modell ausgeführt wurde - in Form eines Aufmerksamkeitsfokus. Dessen Größe hängt von der Differenz der anfänglichen Target- und Distraktoraktivierungen ab. Je größer die Differenz dieser Aktivierungen ist, desto größer kann der Aufmerksamkeitsfokus eingestellt werden (linke Spalte). Der Fokus wird kleiner gestellt, wenn die Differenz geringer wird (rechte Seite). Die vierte Zeile schematisiert wie sich die Anpassung der Fokusgröße auf die Salienzkarten auswirkt. In der beachteten Zone besitzt das Target den größten (fein abgestimmten) Salienzwert. Die fünfte Zeile zeigt beispielhaft, wie sich Sakkaden zu einem Zeitpunkt auf den Reiz (hier der Zielreiz) mit der größten Aktivierung richten.

### 6.2.4 Vorhersagen für die visuelle Suche

Mit Hilfe der attentionalen Salienzmodelle können nicht nur die zwei Pole des Re-aktionszeit-Kontinuums (parallele und serielle Suche) vorhergesagt werden, sondern ebenso alle intermediären Verläufe (z.B. teil-serielle Suche). Damit werden sie der heute vorherrschenden Vorstellungen eines Kontinuum von Sucheffizienzen gerecht. Die Effizienz der visuellen Suche hängt von der Differenzierbarkeit der Target- und Distraktoraktivierung ab. Wird dem Target ein großes Aktivierungsgewicht und den Distraktoren ein kleines Gewicht (Erhebungen auf der Salienzkarte) zugeteilt (Abbildung 6.1, S. 79, linke Spalte), kann das Target effizient gefunden werden (*parallele*, *effiziente*, *pop-out* Suche). In *STRAVIS* wird konkretisiert, dass in diesem Fall, der Aufmerksamkeitsfokus auf weit eingestellt ist und alle (bzw. viele) Objekte des Suchbildes parallel abgesucht werden. Unter den parallel abgesuchten Items, besitzt das Target per Definition den größten (fein abgestimmten) Salienzwert. Daraus folgt, dass nur ein (oder wenige) Suchschritt(e) benötigt wird (werden), um das Target zu finden. Je ähnlicher sich die Target- und Distraktoraktivierungen (Erhebungen auf der Salienzkarte) sind, desto weniger kann die höchste Erhebung eindeutig dem Target zugeordnet werden (Abbildung 6.1, S. 79, rechte Spalte). Der Zielreiz wird nicht mehr effizient gefunden (*serielle*, *ineffiziente* Suche). Der Aufmerksamkeitsfokus wird in diesem Fall kleiner. Das Zentrum der Aufmerksamkeit muss näher an das Zielobjekt verlagert werden, damit der Zielreiz in der beachteten Zone die größte (fein abgestimmte) Salienz besitzt. Es wird (werden) ein (bzw. weniger) Objekt(e) parallel abgesucht und damit steigt die Anzahl der Suchschritte. Durch die oben skizzierten Verbindungen zwischen den attentionalen Konzepten und Augenbewegungen können ebenso Maße der Okulomotorik in Abhängigkeit von verschiedenen Suchparametern vorhergesagt werden. Mit einer sinkenden Targetsalienz sollten sich die Sakkadenamplituden verkleinern und der Anteil an Mehrfachfixierungen steigen (Wienrich et al., 2009).
Durch die oben beschriebene Variabilität der Aktivierungen schaffen es die salienzbasierten Modelle nicht nur die zwei Pole des Reaktionszeit-Kontinuums - parallele und serielle Suche vorherzusagen, sondern ebenso alle intermediären Verläufe (z.B. teil-serielle Suche). Damit werden sie der heute vorherrschenden Vorstellungen eines Kontinuums von Sucheffizienzen gerecht. Insgesamt sind salienzkartenbasierte Modelle als Synapse aus *GS*, *STRAVIS* und *MSG* notgedrungen ungenau bei der Charakterisierung, was nachteilig für eine effiziente visuelle Suche sein kann.

### 6.2.5 Einordnung in bisher diskutierte Konzepte

Salienzbasierte Modelle beinhalten eine *top-down* und eine *bottom-up* gesteuerte Verarbeitung von Reizen. Sowohl Merkmale der Aufgabe und des Beobachters als auch physikalische Merkmale determinieren die Höhe der Aktivierung von Objekten auf den Salienzkarten. Auch zwischen zwei aufeinander folgenden Sakkaden (innerhalb eines Durchgangs) können sich diese Aktivierungswerte ändern. Diese Intra-Trial-Dynamik ist wichtig für die Verbindung von attentionalen und okkulomotorischen Prozessen und spiegelt einen Aspekt des *MSG* wider. Weiterhin lassen sie sich eher einer *ortsbasierten* Vorstellung der Aufmerksamkeitsverteilung zuordnen, da sich zumindest bei den attentionen Salienzmodellen, Aufmerksamkeit nur an einem Ort pro Zeit befinden kann. So schließt der Aufmerksamkeitsfokus (konkretisiert in *STRAVIS*) solche Objekte ein, welche räumlich nahe beieinander sind. Da jedoch die Eigenschaften von Objekten die Aktivierungsbildung beeinflussen, wird ebenso dem objektbasierten Ansatz Rechnung getragen. Wolfe (1994, S.209) schreibt dazu: „[...] each item attracts attention on the basis of its properties.“. Aufmerksamkeit wird hier als Fokus beschrieben und folgt damit am ehesten dem Bild einer räumlich ausgedehnten Gummilinse.

## 6.3 Retinale Mechanismen - Gradienten- versus Fixationsorthypothese

Weiter oben wurde bereits erläutert, dass attentionale und okulomotorische Parameter durch verschiedene Faktoren (z.B. physikalische Reizwerte, Ziele des Wahrnehmenden) bestimmt werden. Des Weiteren wurden Verbindungen zwischen diesen Parametern gezogen (z.B. die Sakkadenamplitude als Korrelat der Fokusgröße). Darüber hinaus wurde Salienz als psychologisches Konstrukt eingeführt. In der vorliegenden Arbeit soll der Zusammenhang zwischen dem Aufmerksamkeitsfokus als psychologisches Konstrukt, welches sich auf die Verarbeitung von Außenreizen bezieht und dem *Sehschärfegradient* der Retina, einem physiologischen Konstrukt, welches versucht die verarbeiteten Strukturen selbst zu beschreiben, genauer untersucht werden. Der *Sehschärfegradient* beschreibt bei intakter Wahrnehmung die Abnahme der Sehschärfe von der Fovea zur retinalen Peripherie.
Bereits (Jonides, 1983) brachte die Verteilung von Aufmerksamkeit in Verbindung mit der Eigenschaft des visuellen Systems, das heißt Objekte so zu fixieren, dass sie auf sensible Areale der Retina fallen (normalerweise in die Fovea). Er schrieb dazu: „[...], we may view the mind's eye as analogous to the body's eye: It has a field of concentrated processing like the fovea, and it is free to traverse a wide range of available spatial locations.“(Jonides, 1983, S.250). Außerdem wurde oben ausgeführt, dass mit einem abnehmenden Stimu-

luskontrast, das Zentrum der Aufmerksamkeit näher an das Zielitem gebracht wird (der Aufmerksamkeitsfokus wird kleiner), um die Salienz des Targets zu erhöhen. Müller-Plath (2000) brachte dies bereits in Verbindung mit der Abnahme der Sehschärfe mit zunehmender Entfernung vom Fixationsort. Dieser Zusammenhang wird im Folgenden genauer untersucht, zunächst für den Fall, dass der Fixationsort in die Fovea fällt (intakte foveale Wahrnehmung). Danach werden zwei Sonderfälle betrachtet: eingeschränkte foveale Wahrnehmung und defekte foveale Wahrnehmung. Wichtig an dieser Stelle ist zu betonen, dass physiologisch hier ausschließlich die Retina betrachtet wurde. Andere physiologische Prozesse, welche die Wahrnehmung beeinflussen können, sind hier nicht angesprochen.

### 6.3.1 Intakte foveale Wahrnehmung

Wenn die Fovea centralis der Ort des schärfsten Sehens ist (vgl. Kapitel 3), sollten folgende Zusammenhänge zwischen dem Aufmerksamkeitsfokus als psychologisches Konstrukt, und den physiologischen Mechanismen der Retina bestehen:
Wenn ein hoher Stimuluskontrast vorliegt, sollte auch die Sehschärfe retinal peripherer Bereiche ausreichen, um einen Zielreiz zu entdecken. Es gibt also einen *großen/weiten* retinalen Bereich, welcher für die Zielreizentdeckung genutzt werden kann. Dies könnte einen auf *weit* eingestellten Aufmerksamkeitsfokus reflektieren (Abbildung 6.2, S. 83, linke Spalte). Die Sakkaden bei einer visuellen Suche (falls notwendig) könnten dann deshalb groß sein, weil die Landeposition nicht exakt auf einem Item gewählt wird, sondern so, dass möglichst viele Items von dem weiten retinalen Bereich erfasst werden. Ein Hinweis darauf könnte der sogenannte *global effect* sein, der sich in Fixationen in der Mitte von Itemgruppen zeigt (van der Stigchel & Nijboer, 2011). Wenn im Gegensatz dazu ein geringer Stimuluskontrast vorliegt, reicht die Sehschärfe der retinal peripheren Bereiche für eine Zielreizidentifikation nicht mehr aus. Dies bedingt exakte foveale Fixationen und könnte sich in einem *engen* Fokus widerspiegeln (Abbildung 6.2, S. 83, rechte Spalte). Wenn man diesen Annahmen folgt, ist bei intakter fovealer Wahrnehmung der Bereich des schärfsten Sehens und das Zentrum der Aufmerksamkeit gekoppelt. Mit anderen Worten kann das strategische Element der Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus nicht von dem Mechanismus entkoppelt werden, das Blickzentrum auf die Bereiche mit der größten bzw. ausreichender Sehschärfe zu lenken. Es stellt sich zusammenfassend also die Frage, ob die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus lediglich dazu dient, Reize auf die retinalen Gebiete zu holen, die genug Sehschärfe aufweisen, um sie zu identifizieren oder stellt sie einen unabhängigen kognitiven Mechanismus dar?

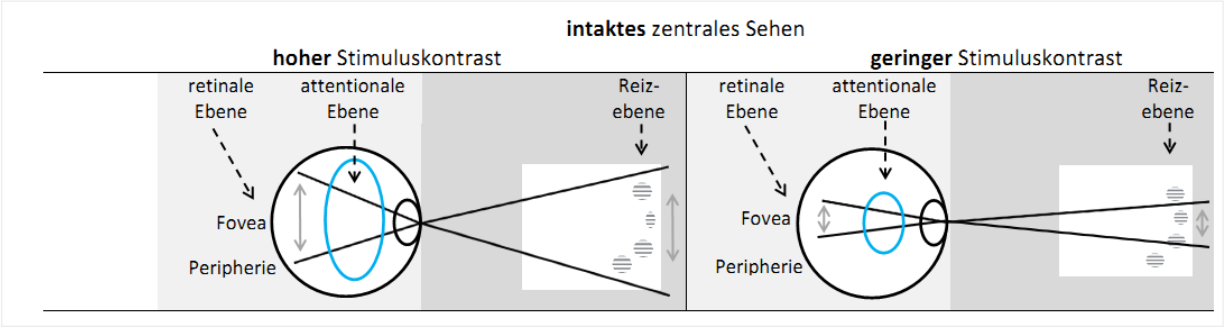



**Abbildung 6.2.:** Diese Grafik zeigt die vermuteten Zusammenhänge zwischen der retinalen Sehschärfe und der Größe des Aufmerksamkeitsfokus für eine intakte foveale Wahrnehmung. Links ist ein hoher Stimuluskontrast und rechts ein geringer Stimuluskontrast in einer visuellen Suche dargestellt. Jeweils links (hellgrau) sind die retinalen und attentionalen Konzepte visualisiert. Rechts (dunkelgrau) ist ein Beispieldisplay einer Merkmalssuche abgebildet. Die blauen Ellipsen veranschaulichen den Aufmerksamkeitsfokus.

### 6.3.2 Zentraler Sehverlust als Forschungsmethode und als Forschungsgegenstand

Eine Vorgehensweise die obige Frage zu beantworten, liegt in der Entkopplung des Bereichs des schärfsten Sehens und dem Zentrum der Aufmerksamkeit. Diese Entkopplung liegt bei einem zSV vor. Erstens ist ein scharfes zentrales Sehen nicht mehr möglich und zweitens verändert sich das Fixationsverhalten. Wie unter Tabelle 3.2.1 (29) beschrieben, fixieren AMD Patienten nicht mehr foveal, sondern mit einem neuen Fixationsort – dem sogenannten *preferred retinal locus*. Diese Entkopplung kann aus zwei Perspektiven beleuchtet werden. Aus einer anwendungsbezogenen Perspektive kann man sich fragen, wie sich der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsprozessen und retinalen Mechanismen verändert, wenn ein zSV vorliegt und verschiedene experimentelle Paradigmen mit AMD Patienten und entsprechenden Kontrollen durchführen. Das Vorgehen würde einen rein beschreibenden Charakter für den *Untersuchungsgegenstand* zSV aufweisen. Aus einer grundlagenwissenschaftlichen Perspektive kann man sich fragen, was wir über den Zusammenhang zwischen Sehschärfe und Aufmerksamkeitsprozesse beim Vorliegen eines zSV lernen können. Dies impliziert ein theoriegeleitetes Vorgehen, bei dem der zSV zunächst als *Forschungsmethode* verstanden werden kann, bevor er in einem zweiten Schritt als *Untersuchungsgegenstand* behandelt werden kann. Die vorliegende Arbeit folgt dem zweiten Weg. Um eine systematische und kontrollierte Entkopplung vornehmen zu können, wird der zSV systematisch und kontrolliert in zwei Stufen (eingeschränkte foveale Wahrnehmung und defekte foveale Wahrnehmung) manipuliert. In Abhängigkeit dieser

Manipulation wird der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsprozessen und retinalen Mechanismen vertiefend untersucht.

### 6.3.3 Eingeschränkte foveale Wahrnehmung

Beim Vorliegen eines semi-opaken zentralen Sehverlustes (zSV) kann man davon ausgehen, dass die Salienz des Targets durch den semi-opaken zSV abnimmt. Obwohl der Reiz physikalisch für alle Beobachter gleich ist, kann angenommen werden, dass für Betrachter mit semi-opaken zSV Erhebungen auf der Salienzkarte nicht so ausgeprägt sind wie für normale Beobachter. Das heißt weiter, dass die Targetsalienz kleiner für Betrachter mit semi-opaken zSV ist als für jene ohne Seheinschränkung. Reize, die für die Beobachter ohne zSV salient sind, sind demzufolge weniger salient für Betrachter mit semi-opaken zSV (Kuyk et al., 2005). Da beim Vorliegen eines semi-opaken Skotoms immer noch foveal fixiert wird (vgl. Kapitel 3), kann hier die angestrebte Entkopplung noch nicht erreicht werden. Es werden demnach die gleichen retinalen Mechanismen, die bei intakter fovealer Wahrnehmung vorliegen, angenommen. Da allerdings die anfängliche Targetsalienz durch das semi-opake Skotom geringer als bei intakter fovealer Wahrnehmung ist, sollten ausschließlich foveale Gebiete zur Targeterkennung genutzt werden. Mit anderen Worten: Auch wenn die Reize physikalisch gut unterscheidbar sind, sollte der Aufmerksamkeitsfokus *eng* gestellt werden, um in dem beachteten Areal eine hohe (fein abgestimmte) Targetsalienz zu erzielen (Abbildung 6.3, S. 84). Für eine eingeschränkte foveale Wahrnehmung sollten sich demzufolge hauptsächlich bei einem hohen Stimuluskontrast Unterschiede zu einer intakten fovealen Wahrnehmung zeigen.

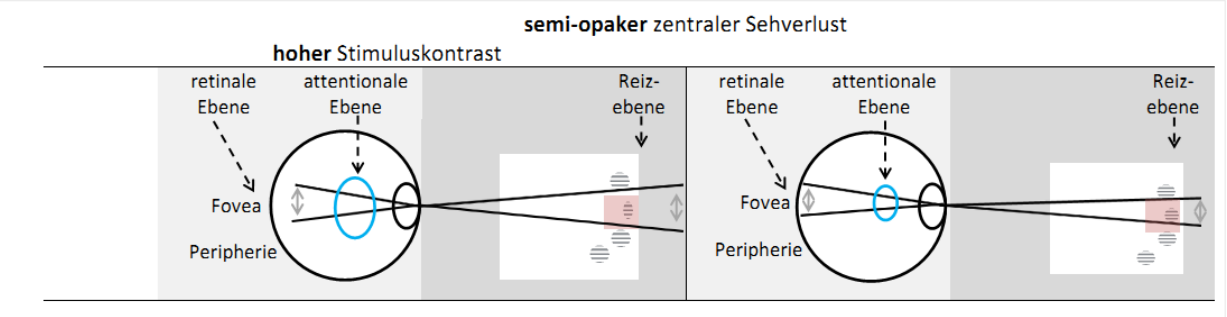



**Abbildung 6.3.:** Diese Grafik ist ähnlich zu Abbildung 6.2 (S. 83) mit dem Unterschied, dass hier die Zusammenhänge zwischen der retinalen Sehschärfe und der Größe des Aufmerksamkeitsfokus für eine eingeschränkte foveale Wahrnehmung dargestellt sind. Die roten Flächen schematisieren die Skotome. Sie sind nur zur Veranschaulichung rot.

### 6.3.4 Defekte foveale Wahrnehmung

Beim Vorliegen eines opaken zSV kann die angestrebte Entkopplung des Bereichs des schärfsten Sehens und dem Zentrum der Aufmerksamkeit erreicht werden. Zunächst kann man auch hier davon ausgehen, dass die Salienz des Targets durch den opaken zSV abnimmt. Weiterhin ist klar, dass die foveale Sehschärfe gegen null geht und retinal periphere Bereiche zur Reizerkennung genutzt werden müssen (vgl. Kapitel 2).[6]
Darüber hinaus können meiner Meinung nach zwei retinale Mechanismen stattfinden, welche unterschiedliche Auswirkungen auf die Verteilung von Aufmerksamkeit haben dürften:

*Gradientenhypothese*: Wenn die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus darstellt, sollte sie strategisch erfolgen. Ein strategisches Vorgehen könnte es sein alle intakten, also alle peripheren Areale für die Reizverarbeitung zu nutzen. [7] Übertragen auf den Aufmerksamkeitsfokus würde dies bedeuten, dass er *weit* sein sollte. Mit anderen Worten: Eine Targetentdeckung wird möglich, wenn der Aufmerksamkeitsfokus größer als das zentrale opake Skotom ist (Abbildung 6.4, S. 86, erste Zeile). Die *Weitstellung* des Aufmerksamkeitsfokus sollte sowohl bei hohem als auch bei geringem Stimuluskontrast erfolgen. Damit würde man vor allem in Bedingungen eines geringen Stimuluskontrast Unterschiede zu einer Sehsituation ohne zSV erwarten, da hier der Aufmerksamkeitsfokus *eng* gestellt wird.

*Fixationsorthypothese*: Auf der anderen Seite ist in Anlehnung an die Veränderungen des Fixationsverhaltens (Verschiebung der Fovea in ein retinal peripheres Areal, vgl. Kapitel 3) denkbar, dass nur dieses Areal für eine Targetidentifikation genutzt wird. Wenn die Größenenstellung des Aufmerksamkeitsfokus an dieses Fixationsverhalten gekoppelt ist, sollte sie so erfolgen, dass beachtete Reize in das neue Fixationsareal fallen. Der Aufmerksamkeitsfokus sollte *eng* gestellt und so ausgerichtet, dass das zentrale Skotom nicht in den Fokus fällt (Abbildung 6.4, S. 86, zweite Zeile). Die *Engstellung* des Aufmerksamkeitsfokus sollte sowohl bei hohem als auch bei geringem Stimuluskontrast erfolgen. Damit würde man vor allem in Bedingungen eines hohen Stimuluskontrastes, Unterschiede zu einer Sehsituation ohne zSV erwarten, bei welcher der Aufmerksamkeitsfokus *weit* gestellt wird.

[6] Klar erscheint, dass diese Überlegungen lediglich für Merkmale bedeutsam sind, welche peripher wahrgenommen werden können.
[7] Der Sehschärfegradient verläuft hier also von peripher nach zentral.

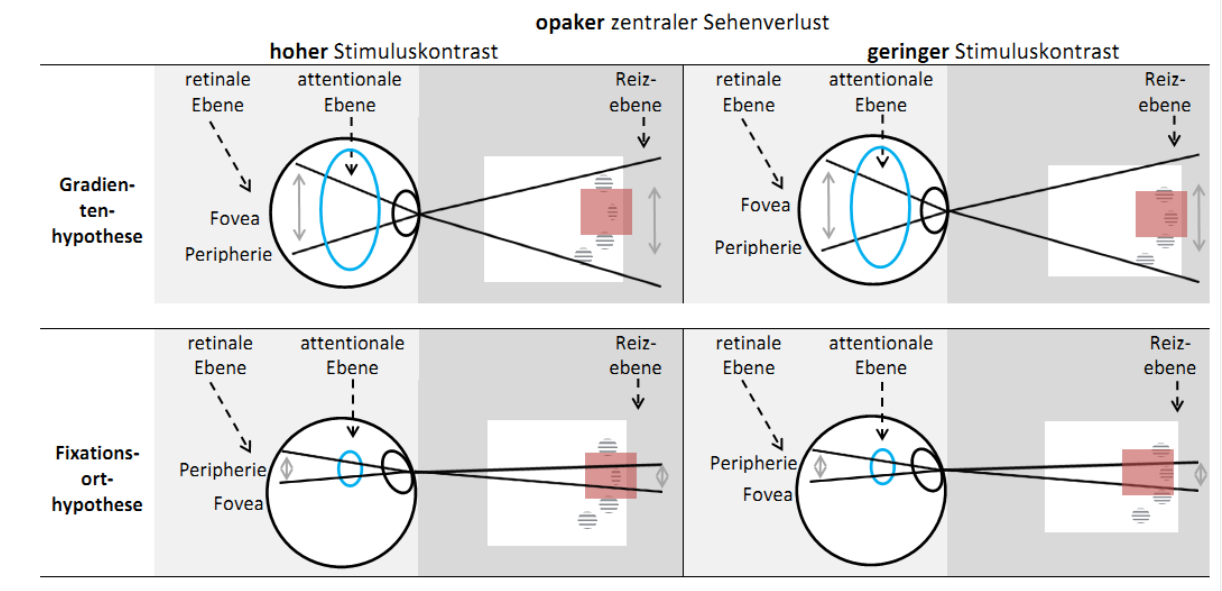



**Abbildung 6.4.:** Diese Grafik ist ähnlich zu Abbildung 6.2 (S. 83) mit dem Unterschied, dass hier die Vorhersagen der *Gradientenhypothese* (oben) und der *Fixationsorthypothese* (unten) für eine defekte foveale Wahrnehmung dargestellt sind. Die roten Flächen schematisieren die Skotome. Sie sind nur zur Veranschaulichung rot und nicht opak dargestellt.

### Indizien für und gegen die Hypothesen

Auf der einen Seite gibt es in meinen Augen zwei Indizien, welche für die *Gradientenhypothese* sprechen. Obschon die Frage nach dem Erscheinungsbild eines Aufmerksamkeitsfokus bisher nicht einhellig geklärt werden konnte, wurde der Aufmerksamkeitsfokus hier als räumlich uniformes Gebilde beschrieben. Genauer gesagt, wurde angenommen, dass die verwendeten experimentellen Paradigmen in der vorliegenden Arbeit eher zu einem uniformen Fokus führen als zu multiplen Foki. Diese Argumentation bezieht sich natürlich zunächst auf das psychologische Konstrukt, liefert in meinen Augen aber einen ersten Hinweis auf die *Gradientenhypothese* (physiologisch retinale Mechanismen). Zweitens zeigten bisherige empirische Studien Indizien für beide Hypothesen an (z.B. Cornelissen et al., 2005), was allerdings daran liegen könnte, dass der Progress des zSV meist nicht berücksichtigt wurde. Die bereits ausführlich beschriebene Studie von Cornelissen et al. (Kapitel 5) zeigt Hinweise darauf, dass die Opazität eines zSV zu unterschiedlichen Akkommodationen der Sakkadenamplituden (Fokusgröße) führt. Die Autoren simulierten semi-opake und opake Zentralskotome und stellten fest, dass die Sakkadenamplituden (Korrelat der Fokusgröße) in der semi-opaken Skotomgruppe kleiner werden, wenn der

Stimuluskontrast sinkt. In der opaken Skotomgruppe vergrößern sie sich hingegen. Beide Ergebnisse unterstützen meiner Meinung nach die *Gradientenhypothese*, da die Akkommodation der Sakkadenamplituden einen Hinweis darauf gibt, dass die retinalen Areale für die Targeterkennung genutzt werden, welche ausreichend Sehschärfe aufweisen, um das Target zu identifizieren (semi-opak: zentrales kleines Areal; opak: periphere Areale (groß)). Mit anderen Worten: Es könnten unterschiedlich stark ausgeprägte Skotome zu unterschiedlichen Fokusgrößen (die Einstellung der Fokusgröße als strategisches Element) führen, allerdings auf dem gleichen retinalen Mechanismus (*Gradientenhypothese*) beruhen.
Auf der anderen Seite liefert die Ausprägung einer Pseudofovea bei Patienten mit zSV eher Hinweise für die *Fixationsorthypothese*. Allerdings trifft das nur mit der Zusatzannahme zu, dass die Aufmerksamkeitsverteilung mit der Fixationsverteilung verbunden ist. Kritisch bei dieser Argumentation ist weiterhin, dass das Fixationsverhalten selbst bei zSV sehr vielfältig ist (vgl. Tabelle 3.2.1, S. 29) und in Abhängigkeit davon unterschiedliche retinale Mechanismen greifen könnten. Die Ergebnisse von McMahon et al. (1991) ergeben beispielsweise unterschiedliche Sakkadenmuster für verschiedene Patienten. Patienten, welche mit einer alternativen Retinastelle fixieren, entsprechen eher den Vorhersagen der *Fixationsorthypothese*, wohingegen die Sakkadenmuster von Patienten, die mehreren PRLs nutzen, der *Gradientenhypothese* entsprechen. Mit anderen Worten: Es könnte ebenso die Adaptation des Fixationsmechanismus an die Opazität des zSV zu unterschiedlichen Vorhersagen bzgl. der retinalen Mechanismen führen.

Zusammenfassend gibt es sowohl Hinweise für das Zutreffen der *Gradientenhypothese* als auch der *Fixationsorthypothese*. Meiner Ansicht nach sind die Indizien für die *Gradientenhypothese* plausibler. Ebenso ist die Hypothese sparsamer, da sie den selben retinalen Mechanismus unabhängig von der Veränderung der Sehsituation zugrunde legt. Daher sind die im Anschluss folgenden Erwartungen an die *Gradientenhypothese* angelehnt. Außerdem konnten zwei Faktoren identifiziert werden, welche zu dem kontrovers vorliegenden empirischen Bild führen könnten - der Progress des zSV sowie die Art der Fixation. In der vorliegenden Arbeit wird insbesondere der Einfluss des erst genannten Faktors untersucht.

## 6.4 Resümee für die vorliegende Arbeit

Salienzkartenbasierte Modelle sagen, in Abhängigkeit von der Distraktor- und Targetaktivierung sowie in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, visuelle Suchverläufe vorher. Dabei können verschiedene psychologisch attentionale Parameter (z.B. Größe des Aufmerksamkeitsfokus, Systematik) beschrieben werden, welche über Maße der Okulomotorik (z.B. Sakkadenamplituden, Mehrfachfixierungen) bestimmt werden können. Zusammenhänge zwischen diesen Parametern und retinalen Mechanismen (Physiologie) waren bisher indes nicht Bestandteil des Forschungsfokus. Bei intakter fovealer Wahrnehmung kann das strategische Element der Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus nicht von dem Mechanismus entkoppelt werden, das Blickzentrum auf die Bereiche mit der größten bzw. ausreichender Sehschärfe zu lenken. In Abhängigkeit von dem Stimuluskontrast wird der Aufmerksamkeitsfokus *weit* (hoher Stimuluskontrast) oder *eng* (geringer Stimuluskontrast) eingestellt. Mit Hilfe einer Simulation eines zSV (zSV als Forschungsmethode) soll eine Entkopplung erreicht werden, um die Frage zu beantworten, ob die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus darstellt.

## 6.5 Präzisierung der allgemeinen Fragestellung

### 6.5.1 Stand der Dinge

Die vorausgegangen Kapitel haben darauf aufmerksam gemacht, dass eine altersbedingte Makuladegeneration (AMD) ein ernst zu nehmendes Problem für ältere Menschen darstellt. Trotz intensiver medizinischer Forschung, welche gerade in jüngster Zeit Fortschritte gemacht hat, kann eine Heilung nicht in Aussicht gestellt werden. Da diese Erkrankung allerdings eine Beeinträchtigung in nahezu allen Lebensbereichen mit sich bringen kann, stellt sich die Frage, wie die Betroffenen mit den visuellen Veränderungen umgehen. Diesbezüglich wird seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts verstärkt geforscht. Daraus resultierend gibt es eine große Bandbreite von Ergebnissen, wie sich das Blickverhalten von AMD Patienten verändert und wie sie verschiedene Leseaufgaben lösen. Demgegenüber wurden andere Aufgaben, welche wichtige Lebenssituationen repräsentieren (z.B. visuelle Suche), nicht ebenso intensiv beforscht. Darüber hinaus wurden in der Vergangenheit kaum Verbindungen von Ergebnissen experimenteller Forschung zu höheren *kognitiven Verarbeitungsprozessen* (z.B. Verteilung von Aufmerksamkeit) gezogen. Eine modellgeleitete Vorhersage verschiedener Parameter beim Vorliegen eines zentralen Sehverlustes (zSV) wurde nach meinem Kenntnisstand ebenso wenig angeboten. Weiter bleibt in vielen

Studien unklar, inwiefern die *Skotomopazität* einen Einfluss auf das untersuchte Verhalten hat. Es gibt nur wenige Arbeiten, in denen Patienten in verschiedenen Krankheitsstadien oder Probanden mit unterschiedlich stark ausgeprägten Skotomopazitäten untersucht wurden.
In Kapitel 4 wurde Aufmerksamkeit als *willentliche* Selektion von Wahrnehmungseindrücken auf der Basis von Salienz eingeführt. Salienz wurde dabei als psychologisches Konstrukt definiert. Die physikalischen Reizunterschiede, welche zu einer hohen bzw. geringe Salienz beitragen können, wurden als Stimuluskontrast eingeführt. Damit zusammenhängend wurde auf der Basis einer erwarteten *Reichweite der Aufmerksamkeit* der Vorgang beschrieben, die Größe des Aufmerksamkeitsfokus variabel einzustellen. Nach der Beschreibung des visuellen Suchparadigmas wurden Modelle vorgestellt, welche mit Hilfe von Aktivierungen auf Salienzkarten versuchen zu erklären, wie ein Zielreiz unter Ablenkerreizen gefunden wird. Dabei wurden Vorhersagen über den Aufmerksamkeitsfokus vorgeschlagen, welcher *weit* gestellt wird, wenn der Stimuluskontrast groß ist und der *eng* gestellt wird, wenn der Stimuluskontrast gering ist. Darüber hinaus wurde u.a. die Länge der Sakkaden als okulomotorisches Korrelat der Größe des Aufmerksamkeitsfokus herausgestellt.

Bisherige Beschreibungen des Aufmerksamkeitsfokus waren allerdings auf die Situation mit intakter fovealer Wahrnehmung beschränkt. Ungeklärt sind daraus resultierend die folgenden Fragen: *Stellt die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus dar? Wie äußert sich der Vorgang, die Größe des Aufmerksamkeitsfokus zu verändern, wenn die foveale Wahrnehmung eingeschränkt oder defekt ist?*
Um diese Fragen zu beantworten kann ein zSV als Forschungsmethode oder als Forschungsgegenstand betrachtet werden. Darüber hinaus wurden zwei Hypothesen kontrastiert - die *Gradientenhypothese* und die *Fixationsorthypothese*. Diese Hypothesen kommen zu unterschiedlichen Vorhersagen bezüglich der Ausprägung des Aufmerksamkeitsfokus in Abhängigkeit von der Ausprägung des zSV. Damit verbunden wurden empirische Befunde berichtet, wie sich Parameter der visuellen Suche (Reaktionszeiten, Fehler sowie Augenbewegungen) in Abhängigkeit von der retinalen Reizposition, vom Alter sowie eines zSV zeigen. Mit zunehmender retinaler Exzentrizität, einem zunehmenden Alter und eines zSV nehmen in der Mehrheit der Studien die Reaktionszeiten und die Fehlerraten zu. Ferner steigen die Anzahl der Fixationen und der Mehrfachfixierungen. Mit zunehmenden Alter nehmen darüber hinaus die Sakkenamplituden (okulomotorisches Korrelat der Fokusgröße) ab. Die Exzentrizität der Reizposition sowie eines zSV brachten indes hinsichtlich der Sakkadenamplituden kontroverse Befunde hervor. Dies könnte darin begründet sein, dass der Progress eines zSV kaum berücksichtigt wurde. Studien, die dies taten (z.B.

Cornelissen et al., 2005), weisen allerdings eher auf das Vorliegen der *Gradientenhypothese* hin, also eine Verkleinerung der Sakkadenamplituden mit sinkendem Stimuluskontrast bei semi-opaken zSV und konstant große Sakkadenamplituden bei einem opaken zSV.

### 6.5.2 Fragestellungen

Zusammenfassend lauten die zentralen Fragestellungen der vorliegenden Arbeit folgendermaßen:

> Ist die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus an den Fixationsort gekoppelt oder stellt sie einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus dar (*Fixationsorthypothese* versus *Gradientenhypothese*)?
>
> Wie groß stellen AMD Patienten in verschiedenen Stadien der Erkrankung den Aufmerksamkeitsfokus (Einfluss der Opazität zentraler Skotome)?

### 6.5.3 Experimentelles Vorgehen

Um diese Fragestellungen zu beantworten, wurden zwei Klassen von Experimenten durchgeführt. Zum einen wurden zwei Experimente mit simulitieren Zentralskotomen bei jungen normalsichtigen Probanden durchgeführt (Experiment 1 und 2) und zwei Experimente mit einem natürlich entstandenen zSV bei AMD Patienten und entsprechend älteren Probanden (Experiment 3 und 4). Unter diesen vier Experimenten wurden zum anderen zwei Experimente durchgeführt, bei denen die Größe des Aufmerksamkeitsfokus über Augenbewegungsmaße, genauer die Sakkadenamplitude, bestimmt wurde (Experiment 1 und 3). Demgegenüber wurden zwei Experimente durchgeführt, bei denen die Verteilung von Aufmerksamkeit ohne Augenbewegungsparameter bestimmt wurde (Experimente 2 und 4). Alle vier Experimente waren visuellen Suchexperimenten, in denen das visuelle Suchverhalten unter verschiedenen Ausprägungen der Skotomopazität analysiert wurde. Der zSV wurden in den Experimenten 1 und 2 als Forschungsmethode und in den Experimenten 3 und 4 als Forschungsgegenstand behandelt. Vor diesem Hintergrund wurden die Experimente auf der Basis zweier Populationen realisiert. Mit jungen normalsichtigen Probanden wurden Simulationsstudien durchgeführt, um die direkten Einflüsse eines zSV zu erforschen und Hypothesen zur Verteilung der Aufmerksamkeit unter exzentrischen Blickbedingungen zu prüfen (Experiment 1 und 2). Simulationsstudien haben den weiteren Vorteil, dass Akkommodationen an den zSV identifiziert werden können, *bevor* Langzeitadaptionen greifen. Dies erscheint vor allem vor dem Hintergrund der Entwicklung von Trainingsprogrammen, welche in einem frühen Stadium der Erkrankung eingesetzt werden

sollen, interessant. Unbestritten weisen Ergebnisse, die aus Simulationsstudien gewonnen werden, nicht unbedingt eine Gültigkeit für Patienten auf und sollten, wenn möglich, an klinischen Stichproben evaluiert werden (Experimente 3 und 4). Bei diesen Experimenten wurde insbesondere der Einfluss des Alters kontrolliert. In allen Experimenten wurde die Opazität des Skotoms bzw. der Fortschritt der Krankheit als Faktor einbezogen. In Experiment 1-3 wurde ebenso Stimuluskontrast variiert. Die nachfolgende Tabelle (Tabelle 6.1, S. 93) gibt eine Übersicht über die Experimente.

**Tabelle 6.1.:**
Übersicht über das experimentelle Vorgehen

| Experiment | Stichprobe | Fragestellung | Erwartung | Bedeutung |
|---|---|---|---|---|
| Experiment 1: *Visuelles Suchparadigma* mit simulierten Zentralskotomen | KG: junge Normalsichtige<br>EG: junge Normalsichtige mit simulierten Skotomen (2 Stufen) | Stellt die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus dar?<br>Treffen die Vorhersagen der *Gradientenhypothese* oder der *Fixationsorthypothese* zu? | Bei einem zSV folgt die Verteilung der Aufmerksamkeit den Vorhersagen der *Gradientenhypothese*.<br>Dies bedingt beim Vorliegen eines opaken zSV einen konstant weiten Aufmerksamkeitsfokus.<br>Demgegenüber sollte der Aufmerksamkeitsfokus bei einem semi-opaken zSV konstant klein ausfallen. | Eine adaptive Einstellung des Aufmerksamkeitsfokus in Abhängigkeit vom Fortschritt des zSV könnte Implikationen für Patienten mit zSV (z.B. AMD Patienten) haben. |
| Experiment 2: *Single Fixation Paradigma* mit simulierten Zentralskotomen | KG: junge Normalsichtige<br>EG: junge Normalsichtige mit simulierten Skotomen (2 Stufen) | Sind die Ergebnisse des Experiments 1 durch eine *okulomotorische Irritation* oder tatsächlich durch eine Akkommodation des Aufmerksamkeitsfokus an die simulierten Skotome zu erklären? | Die Ergebnisse des Experiments 1 sind durch eine Akkommodation des Aufmerksamkeitsfokus zu erklären. | Ausschluss von Alternativerklärungen zu den in Experiment 1 erhaltenen Daten. |
| Experiment 3: *Visuelles Suchparadigma* mit AMD Patienten mit Augenbewegung | KG: ältere Normalsichtige<br>PG: AMD Patienten in verschiedenen Stadien | Sind die Befunde des Experiments 1 auf AMD Patienten übertragbar?<br>Findet auch bei AMD Patienten eine adaptive Einstellung des Aufmerksamkeitsfokus in Abhängigkeit vom Fortschritt des zSV statt? | Die Befunde des Experiments 1 sind auf AMD Patienten übertragbar.<br>Auch AMD Patienten stellen den Aufmerksamkeitsfokus adaptiv in Abhängigkeit vom Progress des zSV ein (Gradientenhypothese). | Eine adaptive Einstellung des Aufmerksamkeitsfokus in Abhängigkeit vom Krankheitsfortschritt könnte Implikationen für Blickbewegungstrainings haben. |

**Tabelle 6.1.:** Übersicht über das experimentelle Vorgehen (Fortsetzung)

| Experiment | Stichprobe | Fragestellung | Erwartung | Bedeutung |
|---|---|---|---|---|
| Experiment 4: *Useful Field of View Paradigma* mit AMD Patienten | KG: ältere Normalsichtige<br>PG: AMD Patienten mit binokularen Skotomen | Sind die Befunde des Experiments 2 auf AMD Patienten übertragbar?<br>Findet auch bei AMD Patienten eine adaptive Einstellung des Aufmerksamkeitsfokus in Abhängigkeit vom Fortschritt des zSV statt? | Die Befunde des Experiments 2 sind auf AMD Patienten übertragbar.<br>Auch AMD Patienten stellen den Aufmerksamkeitsfokus adaptiv in Abhängigkeit vom Progress des zSV ein (Gradientenhypothese). | siehe Experiment 3 |

zSV: zentraler Sehverlust; KG: Kontrollgruppe; EG: Experimentalgruppe; PG: Patientengruppe

**Abkürzungen**

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

GS: Guided Search Model

MSG: Modelle der Sakkadengeneralisierung

STRAVIS: Strategien visueller Suche

zSV: zentraler Sehverlust

# 7

# Experiment 1: Visuelle Suche mit simulierten Zentralskotomen


**Zusammenfassung**

**Hintergrund** Wenn durch einen zentralen Sehverlust (zSV) der Bereichs des schärfsten Sehens und das Zentrum der Aufmerksamkeit entkoppelt wird, kann die Anpassung (Akkommodation, vgl. Anhang A) von Aufmerksamkeitsprozessen und Augenbewegungen anhand einer Veränderung der Salienzkarten (okulomotorischer und attentionaler) nicht eindeutig vorhergesagt werden. Es wurden zwei konkurrierende Hypothesen (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*) vorgestellt, welche insbesondere bezüglich des Aufmerksamkeitsfokus (als Korrelat der Sakkadenamplituden) zu unterschiedlichen Vorhersagen kommen, jeweils in Abhängigkeit davon, ob die foveale Wahrnehmung nur beeinträchtigt oder vollständig defekt ist (Opazität des zSV).

**Methode** Um zu entscheiden, welche Hypothese die richtigen Vorhersagen generiert, wurde der zSV als Forschungsmethode verwendet und ein zentrales Skotom in drei Stufen simuliert – kein Skotom, ein semi-opakes Skotom und ein opakes Skotom. Probanden dieser drei *Gruppen* führten eine Merkmalssuche mit vier Abstufungen des *Stimuluskontrastes* und drei Stufen der *Objektanzahl* durch. Untersucht wurden die Auswirkungen dieser Faktoren auf die *Effizienz* (Reaktionszeitanstiege), die *Fokusgröße* (Sakkadenamplituden) sowie die *Systematik* (Mehrfachfixierungen) der Suche.

**Ergebnisse** Die Kontrollprobanden zeigten das typische Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast*. Ähnlich suchten auch die Probanden mit den semi-opaken Skotomen weniger *effizient*, mit einer kleineren *Fokusgröße* und *unsystematischer* mit sinkendem *Stimuluskontrast*. Darüber hinaus zeigten sich ebenso die erwarteten quantitativen Veränderungen zwischen diesen beiden Gruppen: Die Probanden mit semi-opaken Skotomen suchten *ineffizienter*, mit kleineren *Fokusgrößen* und *unsystematischer* als die Kontrollprobanden. Auch die Probanden mit opaken Skotomen suchten *ineffizienter* und *unsystematischer* als die Kontrollprobanden.

Allerdings zeigten sie zugleich größere *Fokusgrößen*. In Akkommodation an einen sinkenden *Stimuluskontrast* wiesen sie wie die Probanden der anderen Gruppen eine *ineffizientere* und *unsystematischere* Suche auf. Im Gegensatz zu den anderen beiden Gruppen zeigten sie konstant große *Fokusgrößen*. Die Diskriminanzanalyse ergab zusätzlich, dass die *Fokusgröße* am stärksten zur Unterscheidung der Gruppen beitrug.

**Diskussion** Die Ergebnisse des vorliegenden visuellen Suchexperiments bestätigen die Vorhersagen der *Gradientenhypothese*. Beim Vorliegen eines zentralen Skotoms wird in allen Suchbedingungen der *Fokus* so *groß* wie möglich eingestellt, um einen Zielreiz zu entdecken. Bei einem opaken Skotom sind das alle potenziellen peripheren Bereiche (*großer* Fokus), während es bei einem semi-opaken Skotom zentrale Bereiche sind (*kleiner* Fokus). Die Vorhersagen der *Fixationsorthypothese* können hingegen hier keine Bestätigung finden. Die Ergebnisse des ersten Experimentes sprechen also dafür, dass die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus darstellt.

**Ausblick** Die Ergebnisse des ersten Experimentes sprechen also dafür, dass die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus darstellt. Inwiefern tatsächlich der simulierte zSV oder eine *okulomotorische Irritation* die akkommodierten Aufmerksamkeitsfoki verursacht hat, soll in Experiment 2 geklärt werden. Eine Untersuchung klinischer und langfristiger Auswirkungen eines zSV wird mit zwei Patientenstudien (Experiment 3 und 4) realisiert.

**Schlüsselwörter**

simulierte Zentralskotome, Aufmerksamkeitsfokus, visuelle Suche, Salienzkartenmodelle, retinale Mechanismen

## 7.1 Hintergrund

Im vorangegangen Kapitel wurden Salienzkartenmodelle beschrieben, mit Hilfe derer Vorhersagen für visuelle Such- Aufmerksamkeits- und Augenbewegungsparameter getroffen werden können. Darüber hinaus wurden Zusammenhänge zwischen diesen Parametern festgestellt. Zunächst wird die visuelle Suche durch ihre *Effizienz* gekennzeichnet. *Effizienz* wird dabei in der Regel mit dem Anstieg der Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der Anzahl dargebotener Items und der Targetsalienz definiert. Weiterführend kann in einem regelmäßig angeordnetem Suchdisplay die Größe des Aufmerksamkeitsfokus auch mit der Sakkadenamplitude bzw. der Anzahl der Suchitems, welche während eines Suchschrittes *parallel* abgesucht werden, beschrieben werden (Müller-Plath, 2000). Mehrfachfixierungen und die damit verbundene Unsicherheit können charakterisieren, wie *systematisch* die Suche abläuft. Diese drei Variablen – *Effizienz*, *Fokusgröße* und *Systematik* – sollen die visuelle Suche in dem vorliegenden Experiment charakterisieren und stellen damit die drei abhängigen Variablen dar.
Ferner wurde der Stimuluskontrast als Faktor ausgemacht, welcher die Zuteilung von Aufmerksamkeit maßgeblich beeinflusst (Kapitel 6). Dementsprechend wurden der *Stimuluskontrast* als unabhängige Variablen variiert. Darüber hinaus wurde der Einfluss der Opazität von simulierten Zentralkotomen (*Gruppe*) untersucht.

Die Vorhersagen salienzbasierter Modelle sowie die Verbindungen attentionaler und okulomotorischer Prozesse standen bereits in früheren Studien im Forschungsmittelpunkt (z.B. Gilchrist & Harvey, 2006; Hogg & Chakravarthy, 2006; Müller-Plath, 2000; Wienrich et al., 2009). Dabei wurden die Parameter für den Fall einer intakten fovealen Wahrnehmung beschrieben:
Je geringer der Stimuluskontrast ist, desto kleiner sollte die *Effizienz* sowie die *Systematik* der visuellen Suche sein. Je geringer der Stimuluskontrast ist, desto kleiner sollte auch die Fokusgröße sein, um die Salienz des Targets zu erhöhen. Die Akkommodation des Aufmerksamkeitsfokus an einen sinkenden Stimuluskontrast wurde ferner mit der Abnahme der Sehschärfe von retinal zentralen zu retinal peripheren Bereichen (*Sehschärfegradient*) in Verbindung gebracht (Müller-Plath, 2000). Diese Annahme wurde unter Einbezug der auf Salienzkarten basierten Modelle konkretisiert: Dem Aufmerksamkeitsfokus liegen die retinalen Gebiete zugrunde, die genug Sehschärfe aufweisen, um das Target von Distraktoren zu diskriminieren. Bei einem hohen Stimuluskontrast sind das sowohl zentrale als auch periphere retinale Gebiete (großer Fokus), wohingegen es in dem Fall eines geringen Stimuluskontrastes nur retinal zentrale Gebiete sind (kleiner Fokus). Allerdings ist das Zentrum der Aufmerksamkeit und der Bereich des schärfsten Sehens bei intakter fovealer Wahrnehmung gekoppelt. Es stellt sich demnach die Frage, ob die Größeneinstellung

des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen Mechanismus darstellt.

Im Gegensatz dazu sind retinale Mechanismen, welche den vorhergesagten Parametern zugrunde liegen, für eine eingeschränkte und defekte foveale Wahrnehmung bisher nicht expliziert. Obwohl gerade bei einer defekten fovealen Wahrnehmung das Zentrum der Aufmerksamkeit von dem Bereich des schärfsten Sehens entkoppelt werden kann. In Kapitel 5 wurden bereits die folgenden Zusammenhänge für diese Fälle skizziert:
Wenn die foveale Wahrnehmung eingeschränkt ist (semi-opaker zentraler Sehverlust (zSV)), sinkt die Wahrnehmbarkeit des Targets, auch wenn die Reize physikalisch gut unterscheidbar sind (vgl. Abschnitt 6.3, S. 81). Der Aufmerksamkeitsfokus sollte dann entsprechend klein sein.
Wenn die foveale Wahrnehmung defekt ist (opaker zSV), können zwei Hypothesen über die retinale Grundlage des Aufmerksamkeitsfokus kontrastiert werden. Wie eben beschrieben schlägt die *Gradientenhypothese* vor, dass alle retinalen Gebiete für die Targeterkennung genutzt werden, welche genügend Sehschärfe aufweisen. Da bei einem opaken zSV zentrale Bereiche defekt sind, werden alle potenziellen peripheren Bereiche angesprochen. Dies sollte sich in einem großen Fokus zeigen, welcher konstant bei verschiedenen Reizbedingungen ist. In Anlehnung an die Veränderungen des Fixationsverhaltens beim Vorliegen eines opaken zSV nimmt die *Fixationsorthypothese* hingegen an, dass nur ein peripheres Retinaareal für die Targeterkennung genutzt wird. Der Aufmerksamkeitsfokus sollte dann konstant klein bei allen Reizbedingen sein. Mit anderen Worten: Die *Gradientenhypothese* nimmt an, dass unterschiedlich stark ausgeprägte zentrale Skotome zu unterschiedlichen Fokusgrößen führen (adaptive Größeneinstellung), allerdings auf dem gleichen retinalen Mechanismus beruhen. Die *Fixationsorthypothese* nimmt demgegenüber einen anderen retinalen Mechanismus beim Vorliegen eines opaken zSV an und sagt ähnliche Fokusgrößen mit einer steigenden Targetsalienz vorher (Größeneinstellung hängt vom Fixationsverhalten ab).

Bisherige empirische Studien zeigten Indizien für beide Hypothesen an. Dies könnte damit erklärt werden, dass die Probanden selten hinsichtlich des Progresses des zSV unterschieden wurden. Die bereits ausführlich beschriebene Studie von Cornelissen et al. (2005) (Kapitel 5) zeigte Hinweise darauf, dass die Opazität eines zSV zu unterschiedlichen Akkommodationen der Sakkadenamplituden (Korrelat des Fokus) führt. Die Autoren simulierten relative und absolute Zentralskotome und stellten fest, dass die Sakkadenamplituden bei relativen Skotomen kleiner werden, wenn der Stimuluskontrast sinkt. Bei absoluten Skotomen vergrößern sie sich hingegen. Beide Ergebnisse unterstützen die *Gradientenhypothese* (relative Skotome: kleine Foki; absolute Skotome: große Foki).

## 7.2 Exposé des Experiments 1

### 7.2.1 Fragestellung

> In Experiment 1 wurde untersucht, ob die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus an den Fixationsort gekoppelt ist oder ob sie einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus darstellt(*Fixationsorthypothese* versus *Gradientenhypothese*).

Um dies zu untersuchen wurden Zentralskotome in drei Ausprägungen (*Skotomgruppe*) simuliert: kein Skotom (im Folgenden abgekürzt mit *NVL*, stammend aus dem Englischen *No central Vision Loss*); semi-opakes Skotom (im Folgenden abgekürzt mit *CVB*, stammend aus dem Englischen *Central Vision Blur*) sowie opakes Skotom (im Folgenden abgekürzt mit *CVL*, stammend aus dem Englischen *Central Vision Loss*). Die Akkommodation der attentionalen Prozesse wurde in einer klassischen offenen (vgl. Abschnitt 5.1, S. 58) Merkmalssuche, angelehnt an Müller-Plath und Pollmann (2003) studiert, in welcher der *Stimuluskontrast* in vier und die *Objektanzahl* in drei Abstufungen variierte. Als Maße der visuellen Suchleistung wurden die *Effizienz*, die *Systematik* und die *Fokusgröße* betrachtet.
In Anlehnung an z.B. Müller-Plath und Pollmann (2003) wurde der *Stimuluskontrast* in einer vorhersagbaren Weise „direkt“ über Reizeigenschaften manipuliert. Vorhersagbar heißt, die Probanden können sich über eine bestimmte Anzahl von Durchgängen auf eine Reizausprägung einstellen. Das Target näherte sich physikalisch in vier Stufen an die uniformen Distraktoren an. Diese Stufen wurden geblockt dargeboten. Darüber hinaus wurde eine geometrisch regelmäßige Anordnung gewählt. Damit können in der Auswertung Sakkadenamplituden auf Fokusgrößen und Mehrfachfixierungen auf die Systematik der Suche bezogen werden.

Im Folgenden werden die Erwartungen, abgeleitet von den Vorhersagen der auf Salienzenkarten basierender Modelle, dargelegt. Die *Gradientenhypothese* wird der *Fixationsorthypothese* entsprechend der Argumentation von Abbildung 6.3.4 (S. 86) vorgezogen.

### 7.2.2 Erwartungen

#### Akkommodation der Salienzkarten

Zunächst kann angenommen werden, dass die Salienz eines Reizes sinkt, wenn sich die Reize physikalisch ähnlicher (sinkender Stimuluskontrast) werden. Dies sollte gleichermaßen für alle Gruppen gelten. Wenn ein zentrales Skotom, sei es semi-opak oder opak, simuliert wird, kann man weiterhin annehmen, dass die *Salienz* des Targets zusätzlich sinkt. Reize, die für die Probanden ohne Skotom salient wirken, könnten demzufolge weniger salient für die Probanden mit zentralen Skotomen sein (Kuyk et al., 2005).
Daran anknüpfend werden veränderte Aufmerksamkeitsprozesse (verschiedene Anpassungen der Größe des Aufmerksamkeitsfokus) für die verschiedenen Skotomgruppen erwartet, um für die Zielreizfindung die Salienz des Targets so groß wie möglich zu machen.

#### Akkommodation der visuellen Suchmuster

Den Vorhersagen der *Gradientenhypothese* folgend, wurden unterschiedliche Suchmuster in Anpassung an einen sinkenden *Stimuluskontrast* für die verschiedenen *Skotomgruppen* angenommen. Für die *NVL* Gruppe wurde mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* (bedingt durch eine physikalische Annäherung zwischen Target und Distraktoren) eine *ineffizientere* Suche mit einer *kleiner* werdenden *Fokusgröße* sowie eine *unsystematischere* Suche angenommen (vgl. Abbildung 7.1, S. 101, erste Zeile).
Für die *CVB* Gruppe sollten die Suchmuster in Anpassung an einen sinkenden *Stimuluskontrast* ähnlich sein, wenngleich quantitative Unterschiede im Vergleich zur *NVL* Gruppe sichtbar werden sollten (vgl. Abbildung 7.1, S. 101, zweite Zeile).

Ähnlich wie in den anderen Gruppen sollte die Suche für Probanden der *CVL* Gruppe *ineffizienter* und *unsystematischer* mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* werden und darüber hinaus quantitativ verschieden im Vergleich zu der *NVL* Gruppe sowie der *CVB* Gruppe sein. Im Gegensatz zu der *NVL* und der *CVB* wird angenommen, dass die Probanden der *CVL* Gruppe mit einer konstant *großen Fokusgröße* unabhängig von dem *Stimuluskontrast* suchen. Diese Annahmen sind in Abbildung 7.2 (S. 102, erste Zeile) veranschaulicht.

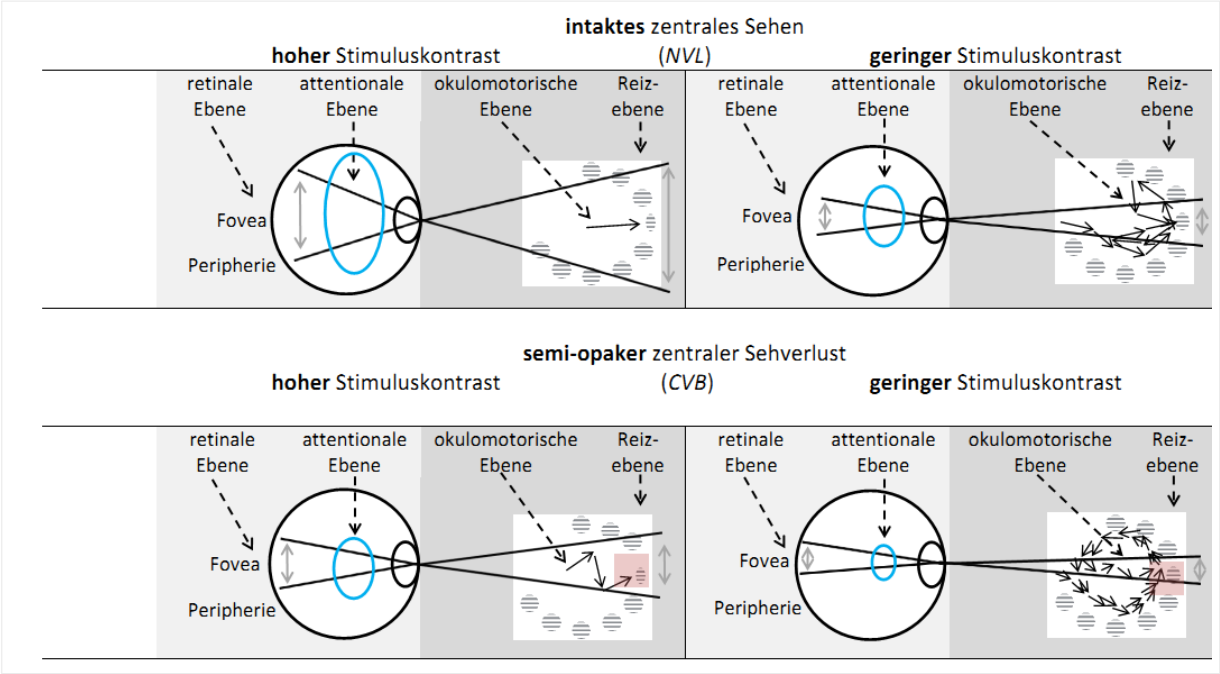



**Abbildung 7.1.:** Diese Grafik zeigt die Erwartungen für die *NVL* und *CVB* Gruppe (Zeilen). Links ist ein hoher Stimuluskontrast und rechts ein geringer Stimuluskontrast in einer regelmäßig angeordneten Merkmalssuche dargestellt. Die roten Flächen schematisieren die Skotome. Die blauen Kreisen veranschaulichen die Größe des Aufmerksamekeitsfokus. Alle Formen sind nur zur Veranschaulichung farbig dargestellt. Jeweils links (hellgrau) sind die retinalen und attentionalen Konzepte visualisiert. Rechts (dunkelgrau) sind die vorhergesagten Akkommodationsmuster der Suchparameter in Gestalt von Pfeilen illustriert. Die Länge der Pfeile schematisieren die Sakkadenamplituden als Korrelate der Fokusgröße und ihre Anzahl die Mehrfachfixierungen als Korrelat der Systematik der Suche.

## 7.3 Methode

### 7.3.1 Probanden

Sieben Probanden suchten mit einem opaken Zentralskotom (*CVL*, mittleres Alter: 23.43 Jahre; Spanne: 20 bis 28 Jahre; drei Männer) und sieben Probanden suchten mit einem semi-opaken Skotom (*CVB*, mittleres Alter: 32.57 Jahre; Spanne: 24 bis 51 Jahre; vier Männer). Die Skotomgruppen wurden mit sieben Kontrollprobanden verglichen, welche ohne zentrale Sichteinschränkung suchten (*NVL*, mittleres Alter: 31.86 Jahre; Spanne: 29 bis 48 Jahre; drei Männer). Alle Teilnehmer wiesen normal oder korrigierte Sehfähigkeiten auf. Die Teilnehmer erhielten Versuchspersonenstunden oder Geld für die Partizipation an dem Experiment.

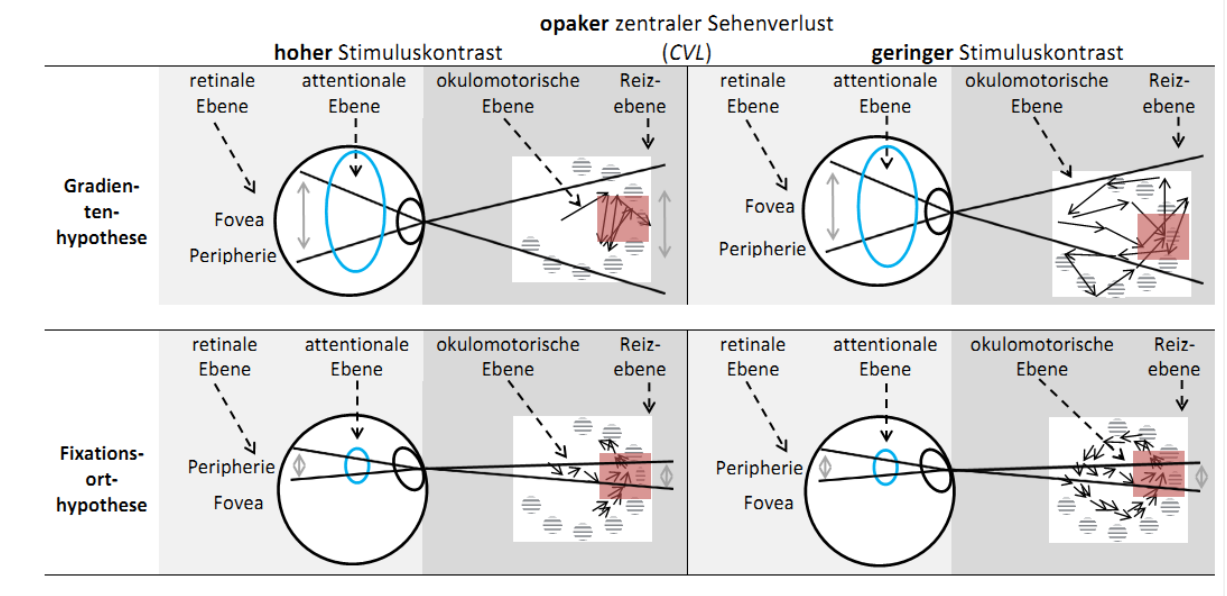


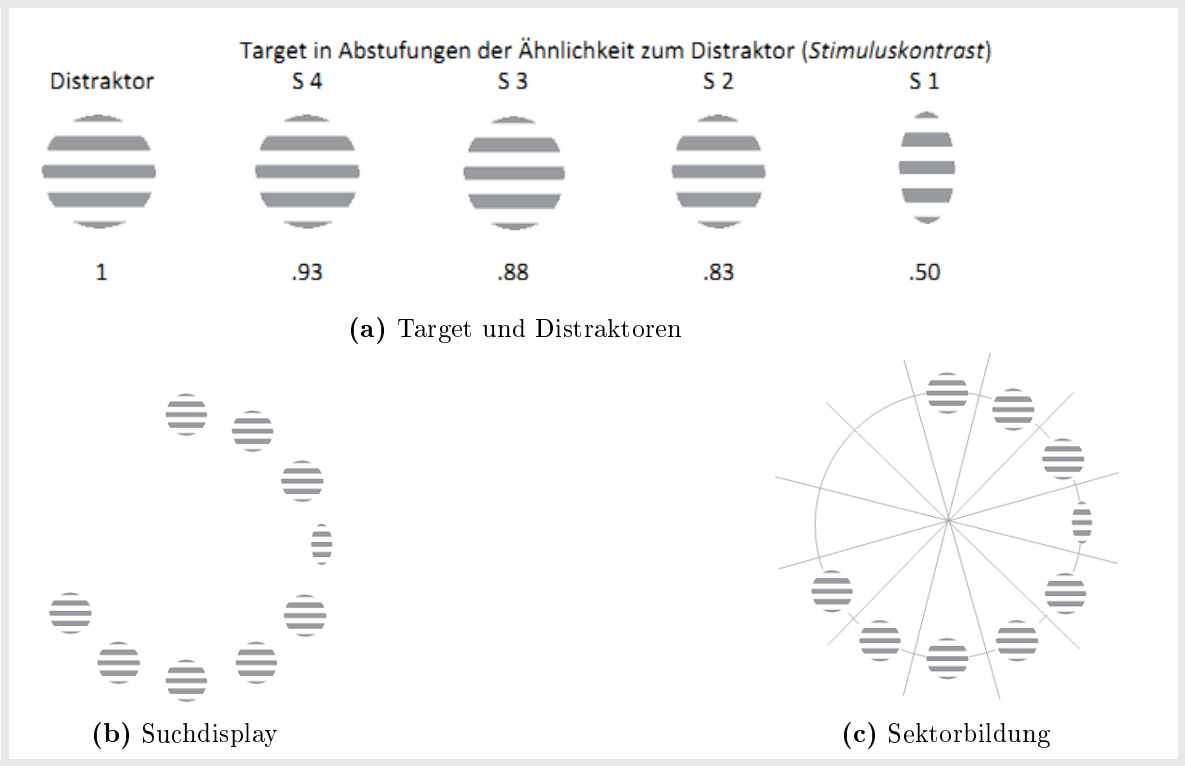

**Abbildung 7.2.:** Diese Grafik ist ähnlich der Abbildung 7.1 (S. 101) mit dem Unterschied, dass die Erwartungen der *CVL* Gruppe dargestellt sind (oben: *Gradientenhypothese*; unten: *Fixationsorthypothese*). Die opaken Skotome sind nur zur Veranschaulichung nicht vollständig opak dargestellt.

### 7.3.2 Apparatur

Die Reize wurden mit Python (http://www.python.org/) auf einem Monitor mit einer Breite von 360 mm und einer Höhe von 370 mm sowie einer Bildwiederholungsfrequenz von 120 Hz und einer Auflösung von 1600 × 1200 px erzeugt. Die Augenbewegungen wurde mit einem *Eyelink 1000 Desktop Mount* (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) aufgezeichnet. Dafür wurden die sogenannte *corneal reflection* und das *pupil tracking* verwendet. Die Kopfposition der Probanden wurden mit einer Kinnstütze in einem Abstand von 690 mm zum Monitor gefestigt. Die Probanden antworteten mit dem rechten Zeigefinger auf einem der beiden Antwortknöpfe. Neue Durchgänge wurden durch das Drücken der Leertaste mit dem linken Zeigefinger gestartet. Zu Beginn jedes Blocks (je 24 Durchgänge) wurde eine Neun-Punkt-Kalibrierung und Validierung der Genauigkeit der Blickerfassung durchgeführt. Nach jedem sechsten Durchgang wurde erneut ein Fixationspunkt in der Mitte des Bildschirms präsentiert, um Abweichungsfehler zu korrigieren (*drift correction*).

### 7.3.3 Stimuli

Grau gestreifte Kreise dienten als Ablenkerreize (Ortsfrequenz: 3.2 cpd; Luminanz: 6.89 $cd/m^2$; xy-CIE-Koordinaten: 0.28, 0.29). Die Zielreize waren Ellipsen, welche sich in vier Abstufungen der Form (*Stimuluskontrast*) von den Distraktoren unterschieden. Alle Reize wiesen einen Durchmesser von 1.3° auf.[1] Distraktoren und Targets sind in Abbildung 7.3 (S. 103, obere Grafik) dargestellt.




**(a)** Target und Distraktoren

**(b)** Suchdisplay

**(c)** Sektorbildung

**Abbildung 7.3.:** a) Distraktor- und Targetitems in den vier Abstufungen des *Stimuluskontrast*: Die Zahlen unter den Items geben das Verhältnis zwischen der Breite und der Höhe der Items wieder. Dieses Verhältnis bestimmt die physikalische Differenz, welche eine monotone Beziehung zu der psychologischen Targetsalienz aufweisen sollte. b) ein Beispiel eines Suchdisplays mit acht Items in der Stimuluskontraststufe 1 (*S 1*) und einem Target an der Drei-Uhr-Postion; c) Diese Abbildung illustriert, wie das Display für die Datenauswertung in zwölf gleich große Sektoren geteilt wurde. Das Target an der Drei-Uhr-Position entspricht einem Kreiswinkel (KW) von 90°. Eine Fixation auf diesem Item wurde angenommen, wenn die Fixation in einem Bereich zwischen 75° KW und 105° KW landete.

Es wurden vier, sechs oder acht Kreise (*Objektanzahl*), nebeneinander auf einem ima-

[1] Mit ° ist, insofern nichts anderes angegeben, Grad visueller Sehwinkel gemeint.

ginären Kreis von 8° Durchmesser angeordnet, an einer Untermenge von zwölf Positionen dargeboten (vgl. Abbildung 7.3, S. 103, b). Die Dichte des Displays wurde konstant gehalten, das heißt, dass mit einer größeren Objektanzahl eine größere räumliche Ausdehnung des Itemdisplays verbunden war. Die Startpositionen wurden einmal zufällig für jeden Durchgang gewählt, waren aber für alle Probanden gleich.
Die quadratischen Zentralskotome wurden durch eine Farbmischung der Items mit der Hintergrundfarbe simuliert.[2] Der Grad der Opazität wurde durch einen Parameter *alpha* mit $0 \leq \alpha \leq 1$ festgelegt. Die Farbmischung der Items erfolgte durch eine gewichtete Mittlung zwischen Item- und Hintergrundfarbe, wobei die Gewichte $\alpha$ bzw. $(1-\alpha)$ waren und somit durch die folgende Formel bestimmt wurde: $Opazitätsfarbe = \alpha \times Vordergrundfarbe + (1-\alpha) \times Hintergrundfarbe$. Die Stärke des simulierten Skotoms (*Gruppe*) wurde durch die Opazität und Größe der Skotome festgelegt. Probanden in der *CVL* Gruppe suchten mit einem Skotom von 6° Quadratdiagonale und einem $\alpha$=0, das heißt ihr zentraler Blick war durch ein opakes Skotom verdeckt. In dieser Bedingung waren die Versuchspersonen auf das periphere Sehen angewiesen. Der Blick der *CVB* Gruppe war durch ein semi-opakes Skotom (3° Quadratdiagonale; $\alpha$=.5) verdeckt. Die Probanden der *NVL* Gruppe suchten ohne Skotom (0° Quadratdiagonale; $\alpha$=1). Die Simulation erfolgte Blick-kontingent. Die Bildwiederholungsfrequenz determinierte die minimale Verzögerungszeit (8.3 ms) bei der Präsentation des Skotoms. Eine Verzögerung bei der Skotompräsentation war subjektiv nicht wahrnehmbar.

### 7.3.4 Versuchsdurchführung

Der experimentelle Ablauf war an früherer Studien angelehnt (Müller-Plath & Pollmann, 2003; Wienrich et al., 2009). Jeder Durchgang startete mit einem Fixationskreuz. Nach 1000 ms erschien das Suchdisplay. Die Versuchspersonen sollten so schnell und so genau wie möglich mittels Tastendruck entscheiden, ob ein Zielreiz dabei war oder nicht. Abgesehen von der Aufforderung das Fixationskreuz zu fixieren bis das Suchdisplay erscheint, wurden keine weiteren Instruktionen bezüglich der Augenbewegungen gegeben. Die Durchgänge wurden hinsichtlich des *Stimuluskontrastes* und *Objektanzahl* geblockt. Ein Block umfasste 24 Durchgänge, in zwölf davon wurde ein Target dargeboten. Zu Beginn jedes Blocks wurde ein Beispieldurchgang gemeinsam mit dem Versuchsleiter durchgeführt. Im Laufe des Experiments wurde jeder Block zweimal ausgeführt. In der ersten Hälfte wurden die Reize in aufsteigender Reihenfolge des *Stimuluskontrast* und der *Objektanzahl* präsentiert, startend mit einem Block der *Stimuluskontraststufe* eins (*S 1*) und *Objektanzahl* vier und endend mit einem Block der *Stimuluskontraststufe* vier (*S 4*) und *Objektanzahl*

[2]Die Skotomsimulation wurde von Richard Gross entwickelt und beschrieben.

acht. In der zweiten Hälfte war es umgekehrt. Das Experiment wurde in vier Sessions á eine Stunde aufgeteilt. Insgesamt wurden pro Versuchsperson 576 Durchgänge (48 pro Bedingungskombination) durchgeführt. Um den Probanden in den Skotomgruppen die Möglichkeit zu geben, sich auf den zSV einzustellen, wurden fünf Fotografien realistischer Szenen zu Beginn des Experiments für jeweils eine Minute präsentiert. Dabei wurden Blick-kontingent dieselben Skotome simuliert wie später im Experiment. Die Probanden sollten die Szenen explorieren und beschreiben.

### 7.3.5 Versuchsplan

Insgesamt lag dem Versuch ein 3 (*Gruppe*) × 4 (*Stimuluskontrast*) × 3 (*Objektanzahl*) Design zugrunde. *Gruppe* war ein *between-subject* Faktor und die anderen beiden Faktoren waren *within-subject* Faktoren.

### 7.3.6 Datenanalyse

#### Ausschlusskriterien

Die ersten zwei Durchgänge jedes Blocks wurden ebenso von der Analyse ausgeschlossen wie die Durchgänge ohne Target. Innerhalb der individuellen Daten und jeder abhängigen Variable wurden Durchgänge nicht für die Auswertung einer abhängigen Variable berücksichtigt, wenn die abhängige Variable mehr als zwei Standardabweichungen von dem individuellen Mittelwert in jeder Bedingungskombination abwich.[3] Damit wurden durchschnittlich 4.31 % (Spanne: 2.99 % bis 5.13 %) der Durchgänge für die Reaktionszeitanalyse; 4.51 % (Spanne: 2.51 % bis 11.66 %) der Durchgänge für die Analyse der Sakkadenamplituden sowie im Mittel 3.23 % (Spanne: 1.55 % bis 5.19 %) der Durchgänge für die Auswertung der Mehrfachfixierungen, ausgeschlossen.
Weiterhin wurden nur die Augenbewegungen analysiert, welche in das Reaktionszeitfenster fielen (von der Reizerscheinung bis zur Antwort). Da hier die Akkommodation an den Faktor *Stimuluskontrast* im Zentrum steht und die Suchstrategien in unterschiedlichen Displaygrößen verschieden sein können (Müller-Plath & Pollmann, 2003), wurde für die Analyse der Augenbewegungen nur die *Objektanzahl* von acht Items beachtet. Acht Objekte wurden ausgewählt, weil die Spannbreite von Sakkadenamplituden und Mehrfachfixierungen dort am größten war.

[3] Fehlerhafte Durchgänge wurden nicht ausgeschlossen.

### Abhängige Variablen

Um Fixationen eindeutig den Reizen zuordnen zu können, wurde das Itemdisplay in zwölf Sektoren mit einer jeweiligen Größe von 30° aufgeteilt (vgl. Abbildung 7.3, S. 103, c). Die Zentren der Sektoren koinzidieren mit denen der Items. Die zu untersuchenden Suchmuster werden durch (a) die *Effizienz* der visuellen Suche, (b) die *Fokusgröße* und (c) die *Systematik* der Suche charakterisiert.

(a) Die *Effizienz* wurde mit Reaktionszeitanstiegen ermittelt, welche durch einfache lineare Regressionen auf die *Objektanzahl* berechnet wurden (Duncan & Humphreys, 1989). Die *Effizienz* wird hier demnach in der Einheit *Millisekunden pro Item* (*ms/Item*) angegeben. Das bedeutet ferner: je kleiner die Werte sind, desto *effizienter* ist die visuelle Suche. Die Fehlerrate wurde geprüft, um den *speed-accuracy trade-off* zu kontrollieren. Wenn die Reaktionszeiten und die Fehlerraten einen ähnlichen Verlauf in Abhängigkeit der jeweils untersuchten Faktoren zeigten, wurde der *trade-off* als nicht so erheblich eingestuft, als dass er die Interpretation der Ergebnisse in Frage stellen würde.

(b) Die *Fokusgröße* wurde hier aus der Anzahl der Items geschätzt, um die eine Sakkade von einer Fixation zur nächsten in einem regelmäßig angeordneten Display weiter rückt. Diese Anzahl ergab sich durch die Anwendung trigonometrischer Funktionen aus den Sakkadenamplituden in Grad visueller Sehwinkel.[4] Sobald die Suche bereits nach der ersten Sakkade beendet wurde, wurde die *Fokusgröße* mit der Anzahl der dargebotenen Items (acht) gleichgesetzt, da man davon ausgehen kann, dass alle Items verarbeitet wurden (vgl. Abbildung 7.4, S. 107). Für jeden Durchgang wurde die mittlere Fokusgröße für jede Versuchsperson berechnet. Diese Mittelwerte wurden dann nochmals über alle Durchgänge innerhalb einer Stimuluskontraststufe gemittelt. Je größer die angegebenen Werte sind, desto größer wird hier die *Fokusgröße* geschätzt.

(c) Eine Mehrfachfixierung wurde dann als solche gewertet, wenn ein Item, welches im Suchverlauf eines Durchgangs schon einmal fixiert worden war, erneut angeschaut wird. Diese Definition fasst also die in einer früheren Arbeit unterschiedenen Refixierungen und Reinspektionen zusammen (Wienrich et al., 2009). Entsprechende

[4] Wie in Abschnitt 6.2.2, S. 76 bereits erörtert wurde, ist der Aufmerksamkeitsfokus ein theoretisches Konstrukt und kann nicht beobachtet werden. Unter der Annahme, dass Augenbewegungen und Aufmerksamkeit zusammenhängen und der Vermutung, dass Beobachter in einer offenen Suche ihre Augenbewegungen auf das Nötigste beschränken, wurde die Sakkadenamplitude als Korrelat verwendet. Unter diesen Bedingungen konnte die *Fokusgröße* in Einheiten von Objekten angegeben werden.

Raten wurden pro Durchgang für jede Versuchsperson berechnet. Diese wurden anschließend über alle Durchgänge innerhalb einer Stimuluskontraststufe gemittelt. Der Gegenanteil der Mehrfachfixierungen (1-Anteil der Mehrfachfixierungen) gab dann die *Systematik* der Suche an, welche hier als dritte abhängige Variable betrachtet wurde. Je größer demnach die angegeben Werte sind, desto *systematischer* ist die visuelle Suche.

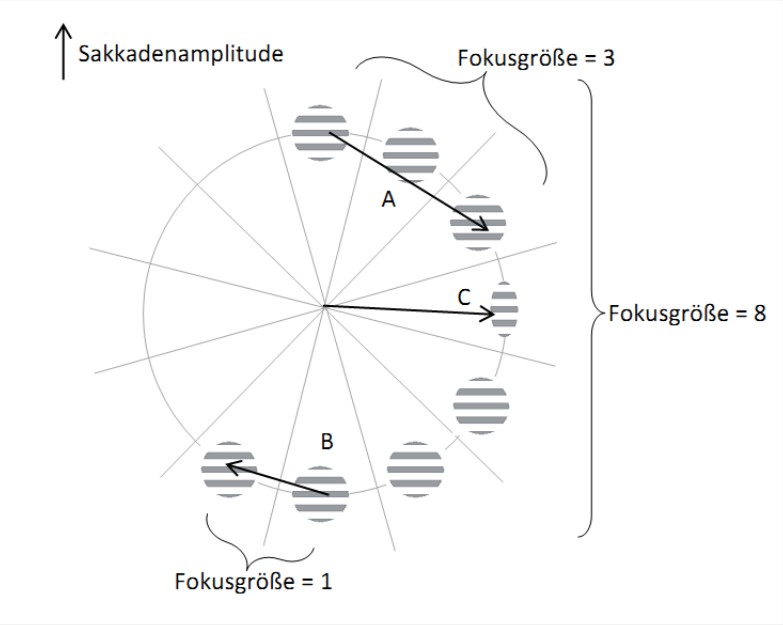



**Abbildung 7.4.:** In dieser Abbildung ist die Berechnung der abhängigen Variable *Fokusgröße* illustriert. Die Pfeile veranschaulichen die Größe der Sakkadenamplituden. A: Wenn eine Sakkade von einem Itemsektor zum nächsten springt, beträgt die Fokusgröße eins. B: Wenn eine Sakkade einen Itemsektor überspringt, beträgt die Fokusgröße drei. C: Wenn die erste Sakkade direkt auf das Zielitem springt, beträgt die Fokusgröße acht.

### Analyse

Da der Faktor *Objekanzahl* hier lediglich für die Berechnung der *Effizienz* verwendet wurde, liegt der Datananalyse ein zweifaktorielles Design der Faktoren *Gruppe* × *Stimuluskontrast* zugrunde. Die Analyse erfolgte in vier Schritten. Zunächst wurde der Effekt des *Stimuluskontrast* auf jede abhängige Variable in jeder Gruppe analysiert (Analyse I). Anschließend wurden die individuellen Muster analysiert, um zu prüfen, ob sie den

Gruppenmuster entsprechen (Analyse II). In Analyse III wurden die quantitativen Veränderungen der *CVB* und der *CVL* Gruppe jeweils gegenüber der *NVL* Gruppe geprüft. Abschließend wurde mittels einer Diskriminanzanalyse exploriert, wie die drei Variablen zwischen den *Gruppen* diskriminieren (Analyse IV). Die im einzeln verwendeten Methoden werden in den entsprechenden Abschnitten konkretisiert.
Das Signifikanzniveau wurde pro statistischen Test auf $\alpha = .05$ oder auf $\alpha = .20$ festgesetzt, wenn die Erwartungen der $H_1$ bzw. der $H_0$ entsprachen.[5] Wenn eine Analyse mit einer Messwiederholung durchgeführt wurde, wurden die Freiheitsgrade mit der *Greenhouse-Geisser-Korrektur* korrigiert (Greenhouse & Geisser, 1959). Die geschätzten Effektstärken wurden als generalisiertes $\hat{\eta}^2$ oder *Cohens* $\hat{d}$ angegeben (genaue Berechnung siehe Wollschläger, 2010, S.215). Die Ergebnisdarstellung wurde durch die Darstellung der entsprechenden Standardfehler unterstützt.[6]

## 7.4 Analyse I - Akkommodation an den Stimuluskontrast (Gruppenanalyse)

### 7.4.1 Hypothesen

Für die Probanden der *NVL* und jenen der *CVB* Gruppe werden eine sinkende *Effizienz* sowie *Fokusgröße* und *Systematik* mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* angenommen. Ausgehend von der *Gradientenhypothese* (Abschnitt 6.3, S. 81) werden für die Probanden der *CVL* Gruppe ebenso eine sinkende *Effizienz* und *Systematik* vermutet, wenn der *Stimuluskontrast* geringer wird. Im Gegensatz zu den anderen beiden Gruppen wird eine konstant große *Fokusgröße* mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* angenommen.
Die Annahmen sind in Abbildung 7.1 (S. 101) und Abbildung 7.2 (S. 102) veranschaulicht.

[5] Bei Mehrfachtestung wurde keine $\alpha$- Korrektur vorgenommen, um sich eine möglichst gute Testpower zu erhalten.

[6] Da hier ein *mixed-model* Design vorliegt, geben die Standardfehler keine Auskunft über die Unterschiedlichkeit zwischen den Gruppen. Der Standardfehler verhält sich proportional zur Standardabweichung und visualisiert daher vielmehr die Variabilität innerhalb der Gruppen.

### 7.4.2 Analysemethoden

Zunächst wurde für jede abhängige Variable der bedingte Haupteffekt des *Stimuluskontrastes* innerhalb jeder Gruppe mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung analysiert. Die Monotonie eines Anstiegs bzw. Abfalls der abhängigen Variablen über die Stimuluskontraststufen hinweg wurde nicht explizit getestet, sondern deskriptiv geprüft.

### 7.4.3 Ergebnisse

Der Einfluss der Faktoren *Stimuluskontrast* und *Gruppe* auf die Variablen *Effizienz*, *Fokusgröße* sowie *Systematik* ist in den Grafiken Abbildung 7.5 (S. 110), Abbildung 7.6 (S. 111) und Abbildung 7.7 (S. 112) dargestellt. Die deskriptiven Ergebnisse können der Tabelle 7.1 (S. 114) entnommen werden.

#### Kein Skotom - NVL Gruppe

Wie erwartet zeigten die Probanden der *NVL* Gruppe eine geringere *Effizienz* mit sinkendem *Stimuluskontrast* ($F_{.53,1.59} = 17.01, p < .01, \hat{\eta}^2 = .65$). Für die *Fokusgröße* wurde erwartungskonform ein monotoner Abfall mit sinkendem *Stimuluskontrast* beobachtet ($F_{.50,1.50} = 21.77, p < .01, \hat{\eta}^2 = .58$). Ebenso sank die *Systematik* mit abnehmendem *Stimuluskontrast* ($F_{.53,1.59} = 34.68, p < .01, \hat{\eta}^2 = .72$). Für alle berichteten Variablen war ein quantitativer „Sprung“ von der ersten zur zweiten Stimuluskontraststufe auffällig (vgl. Tabelle 7.1, S. 114, jeweils erste Zeile).

#### Semi-opakes Skotom - CVB Gruppe

Ähnlich wie die Probanden der *NVL* Gruppe und entsprechend den Erwartungen zeigten die Probanden der *CVB* Gruppe eine geringere *Effizienz* mit abnehmendem *Stimuluskontrast* ($F_{.60,1.80} = 11.38, p < .01, \hat{\eta}^2 = .51$). Sie suchten weiterhin mit kleiner werdenden *Fokusgrößen*, wenn der *Stimuluskontrast* abnahm ($F_{.64,1.92} = 12.67, p < .01, \hat{\eta}^2 = .57$). Ebenso konnte ein Abfall der *Systematik* mit einem abnehmenden *Stimuluskontrast* beobachtet werden ($F_{.53,1.59} = 33.07, p < .01, \hat{\eta}^2 = .57$). Auch in dieser Gruppe war ein quantitativer „Sprung“ von der ersten zur zweiten Stimuluskontraststufe für alle berichteten Variablen auffällig (vgl. Tabelle 7.1, S. 114, jeweils zweite Zeile).

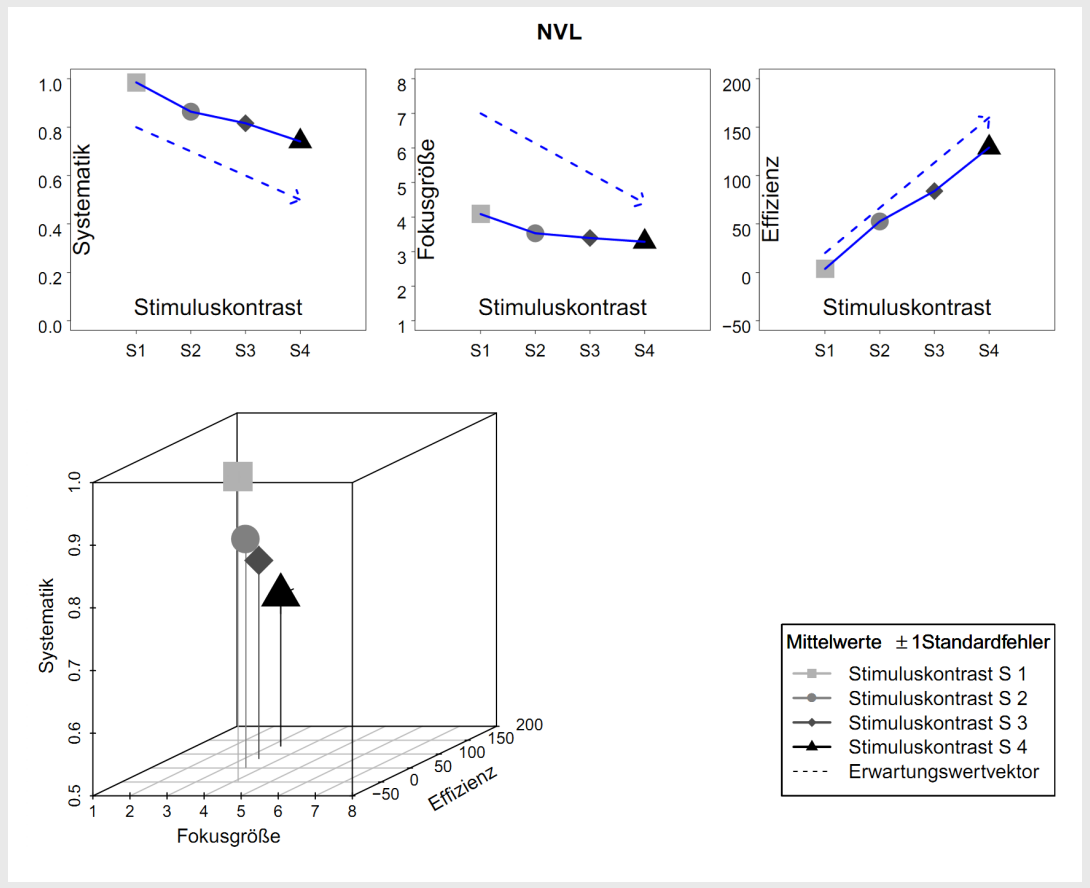



**Abbildung 7.5.:** Der Kubus veranschaulicht die *Effizienz*, die *Systematik* sowie die *Fokusgröße* für die vier Stimuluskontraststufen, dargestellt für die *NVL* Gruppe. An der x-Achse ist die *Fokusgröße* abgetragen. Der Wertebereich lag zwischen eins und acht Items. Je größer die angegebenen Werte waren, desto größer wurde die *Fokusgröße* geschätzt. Die y-Achse zeigt die *Systematik*. Es konnten Werte zwischen null und eins auftreten. Hier galt, je größer die angegebenen Werte waren, desto *systematischer* war die visuelle Suche. Die z-Achse gibt die *Effizienz* der Suche in ms/Item wieder. Je kleiner die angegeben Werte waren, desto *effizienter* war die visuelle Suche. Für eine genauere Beschreibung der Variablen siehe Abschnitt 7.3.6 (S. 106). Die Abbildungen über den Kuben repräsentieren die drei Variablen einzeln. Die durchgezogenen Linien verkörpern die Mittelwertverläufe zwischen den Stimuluskontraststufen in der *NVL* Gruppe. Die gestrichelten Pfeile illustrieren den Verlauf der Erwartungswerte (blau: *CVL* – kein Skotom). Hierbei ist lediglich die Monotonie mit den Ausprägungen konstant, steigend, fallend abgebildet. Über die Stärke der Steigung wurden keine Annahmen getroffen.

### Opakes Skotom - CVL Gruppe

In der *CVL* Gruppe nahm die *Effizienz* nicht signifikant mit sinkendem *Stimuluskontrast* ab ($F_{.59,1.77} = 2.73, p = .12, \hat{\eta}^2 = .26$). Allerdings zeigten die deskriptiven Ergeb-

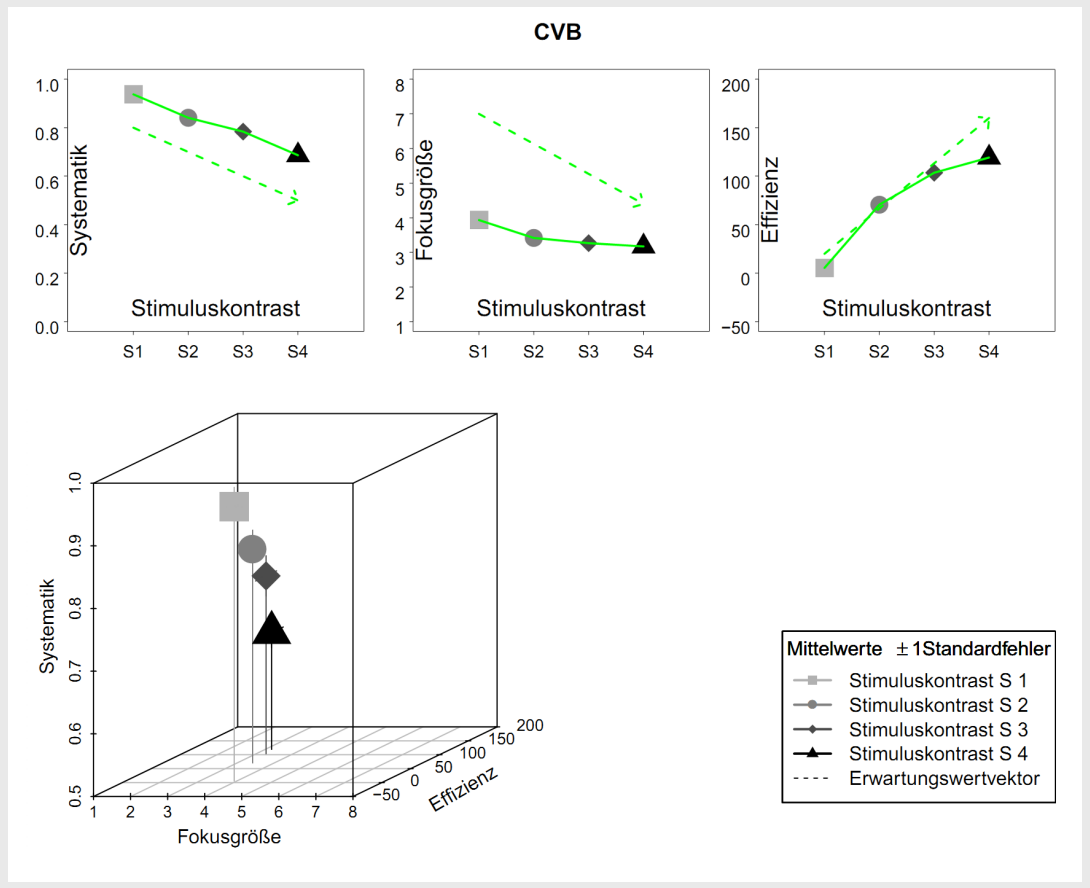



**Abbildung 7.6.:** Diese Abbildung ist ähnlich zu Abbildung Abbildung 7.5 (S. 110) mit der Ausnahme, dass hier die *CVB* Gruppe dargestellt ist.

nisse die erwartete Richtung an.[7] Bezüglich des *Fokusgrößen* erwartete ich, im Gegensatz zu den anderen beiden Gruppen, einen Nulleffekt des *Stimuluskontrastes* (konstante *Fokusgrößen* in allen Stufen der *Stimuluskontrastes*). Die Resultate bestätigten diese Erwartung ($F_{.40,1.20} = .91, p = .40, \hat{\eta}^2 = .01$). Auch die *Systematik* offenbarte erwartungskonforme Ergebnisse. Mit einem abnehmenden *Stimuluskontrast* sank die *Systematik* ($F_{.81,2.43} = 28.17, p < .01, \hat{\eta}^2 = .65$). Bei dieser Gruppe war besonders auffällig, dass der Abfall der *Fokusgröße* von *S 1* zu *S 2*, welcher in den anderen beiden Gruppen so her-

[7] Die Fehlerverläufe präsentierten sich innerhalb jeder Gruppe ähnlich zu den Reaktionszeitverläufen (*NVL*: $F_{.54,1.62} = 12.75, p < .01, \hat{\eta}^2 = .62$; *CVB*: $F_{.57,1.71} = 8.38, p = .01, \hat{\eta}^2 = .38$; *CVL*: $F_{.76,2.28} = 22.32, p < .01, \hat{\eta}^2 = .64$), so dass ein *speed-accuracy trade-off* für nicht so erheblich eingestuft wurde, als dass er die Interpretation der Ergebnisse in Frage gestellt hätte.

vorstechend war, nicht beobachtet werden konnte (vgl. Tabelle 7.1, S. 114, jeweils dritte Zeile).

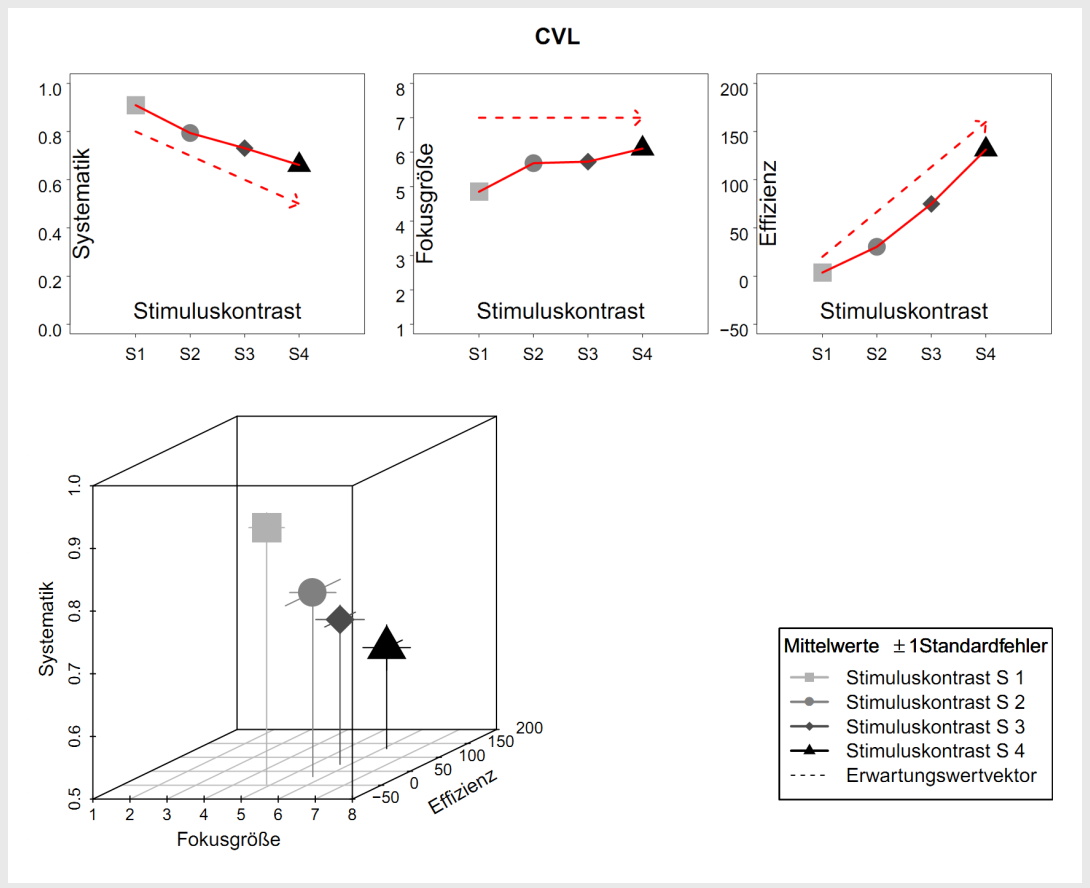



**Abbildung 7.7.:** Diese Abbildung ist ähnlich zu Abbildung Abbildung 7.5 (S. 110) mit der Ausnahme, dass hier die *CVL* Gruppe dargestellt ist.

### 7.4.4 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Sowohl die Probanden der *NVL* als auch die der *CVB* Gruppe zeigten eine typische Akkommodation der Suchmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast* des Targets. Besonders auffallend war die Akkommodation der *Fokusgröße* in der *CVL* Gruppe. Hier blieb die *Fokusgröße* konstant (groß) unabhängig von dem *Stimuluskontrast*. Diese Ergebnisse entsprechen den Vorhersagen der *Gradientenhypothese*, also für eine adaptive Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus. Inwieweit sich die Gruppenmuster auch in den individuellen Daten zeigten, wurde in der nachfolgenden Analyse geprüft.

**Tabelle 7.1.:**
Analyse I - Akkommodation an den *Stimuluskontrast*

| | | Stimuluskontraststufen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S 1 | | S 2 | | S 3 | | S 4 | | M | |
| | | M | SD | M | SD | M | SD | M | SD | M | SD |
| Effizienz (Reaktionszeitanstiege ms/Item) | | | | | | | | | | | |
| Gruppe | NVL | 3.62 | 12.48 | 52.61 | 22.32 | 83.98 | 32.28 | 128.96 | 62.64 | 69.96 | 53.49 |
| | CVB | 5.46 | 19.51 | 70.64 | 36.55 | 103.58 | 55.06 | 119.23 | 60.91 | 69.16 | 55.13 |
| | CVL | 3.69 | 32.73 | 30.45 | 136.02 | 74.94 | 76.12 | 131.33 | 77.36 | 58.46 | 90.88 |
| | M | 4.63 | 23.82 | 53.05 | 73.77 | 90.13 | 53.38 | 118.17 | 60.03 | | |
| Fokusgröße (Sakkadenamplituden in Items/Sakkade) | | | | | | | | | | | |
| Gruppe | NVL | 6.03 | 1.41 | 3.62 | .76 | 3.43 | .94 | 3.46 | .84 | 4.21 | 1.55 |
| | CVB | 4.70 | .22 | 3.60 | .30 | 3.28 | .78 | 3.17 | .75 | 3.77 | 1.18 |
| | CVL | 5.57 | 1.02 | 5.89 | 1.27 | 5.80 | 1.87 | 5.97 | 1.93 | 5.75 | 1.82 |
| | M | 5.26 | 1.63 | 4.41 | 1.56 | 4.27 | 1.66 | 4.29 | 1.74 | | |
| Systematik (1 – Anteil der Mehrfachfixierung) | | | | | | | | | | | |
| Gruppe | NVL | .98 | .03 | .86 | .05 | .82 | .07 | .74 | .09 | .84 | .09 |
| | CVB | .94 | .09 | .85 | .09 | .78 | .09 | .69 | .07 | .80 | .10 |
| | CVL | .91 | .07 | .79 | .04 | .73 | .07 | .66 | .10 | .77 | .11 |
| | M | .92 | .06 | .82 | .06 | .77 | .08 | .70 | .10 | | |

**Tabelle 7.1.:**
Analyse I - Akkommodation an den *Stimuluskontrast* (Fortsetzung)

| | | Stimuluskontraststufen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S 1 | | S 2 | | S 3 | | S 4 | | M | |
| | | M | SD | M | SD | M | SD | M | SD | M | SD |
| Fehlerraten | | | | | | | | | | | |
| Gruppe | NVL | 0.00 | 0.00 | .08 | .07 | .12 | .05 | .24 | .12 | .12 | .11 |
| | CVB | < .01 | .01 | .12 | .09 | .13 | .08 | .20 | .15 | .12 | .11 |
| | CVL | .01 | .02 | .14 | .09 | .20 | .10 | .33 | .13 | .17 | .14 |
| | M | < .01 | .01 | .12 | .08 | .15 | .08 | .26 | .13 | | |

M: Mittelwert; SD: Standardabweichung

## 7.5 Analyse II - Akkommodation an den Stimuluskontrast (individuelle Analysen)

Im Anschluss an die Gruppenauswertung wurden die individuellen Muster analysiert, um zu prüfen, ob sie die Gruppenmuster bestätigen. Insbesondere die verhältnismäßig großen Standardabweichungen innerhalb der *CVL* Gruppe legten den Verdacht nahe, dass die Ergebnisse innerhalb dieser Gruppe inhomogen sind. Um diesem Verdacht auf den Grund zu gehen, testete ich dieselben Hypothesen wie in Analyse I, aber nun bildeten nicht mehr die Personen die Population, sondern die Durchgänge innerhalb einer Person.

### 7.5.1 Hypothesen

Für jeden Probanden wurden die Annahmen entsprechend seiner Gruppenzugehörigkeit getroffen (vgl. Abschnitt 7.4.2, S. 109).

### 7.5.2 Analysemethoden

Es wurde der bedingte Haupteffekt des Faktors *Stimuluskontrast* mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse für die abhängigen Variablen *Fokusgröße* und *Systematik* getestet.[8] Die individuelle *Effizienz* wurde als Interaktionseffekt zwischen den Faktoren *Stimuluskontrast* und *Objektanzahl* analysiert.[9] Das Signifikanzniveau wurde wie oben beschrieben festgesetzt. Wenn ein $\alpha$ von .05 gewählt wurde, zeigte hier ein $p \leq .1$ tendenziell die erwartete Richtung an.

### 7.5.3 Ergebnisse

Ein Blick auf die Abbildung 7.8 (S. 116), Abbildung 7.9 (S. 117), Abbildung 7.10 (S. 118) und Abbildung 7.11 (S. 119) macht deutlich, dass die meisten individuellen Ergebnismuster die entsprechenden Gruppenmustern widerspiegeln. In der *CVL* Gruppe gab es einen Ausreißer bezüglich der *Fokusgröße*. Auch in der *CVB* Gruppe stach ein Proband hervor, wenngleich zu einem geringeren Grad als der Proband der *CVL* Gruppe. Die statistischen Testergebnisse unterstützten diesen visuellen Eindruck. In der *NVL* Gruppe wurden 20 der insgesamt 21 Tests auf dem jeweils gewählten $\alpha$-Niveau signifikant. In der *CVB* Gruppe wurden 19 der insgesamt 21 Tests signifikant, die anderen zwei Tests zeigten die erwartete Tendenz ($p \leq .1$). Auch für die *CVL* Gruppe wurden 13 der 14 Tests bezüglich der *Effizienz* und der *Systematik* signifikant. Bei der *Fokusgröße* war das Ergebnismuster differenzierter. Zwei Probanden zeigten wie erwartet in allen Stufen des *Stimuluskontrastes* ähnliche *Fokusgrößen* (kein signifikantes Testergebnis). Vier Probanden wiesen entgegengestellt zur „normalen“ Akkommodation sogar einen Anstieg der *Fokusgröße* mit abnehmendem *Stimuluskontrast* auf. Ein Proband, der oben benannte Ausreißer, suchte mit kleiner werdender *Foksugröße*, wenn der *Stimuluskontrast* geringer wurde. Er widersprach damit den Erwartungen und dem Gruppenmuster.

[8] Der Haupteffekt des Faktors *Stimuluskontrast* wurde entsprechend der Analyse I nur unter der Bedingung von acht Objekten getestet.

[9] Da ein einzelner Durchgang nur in einer Bedingungskombination vorkommen konnte, wurde die *Effizienz* bei dieser Analyse als Interaktion analysiert.

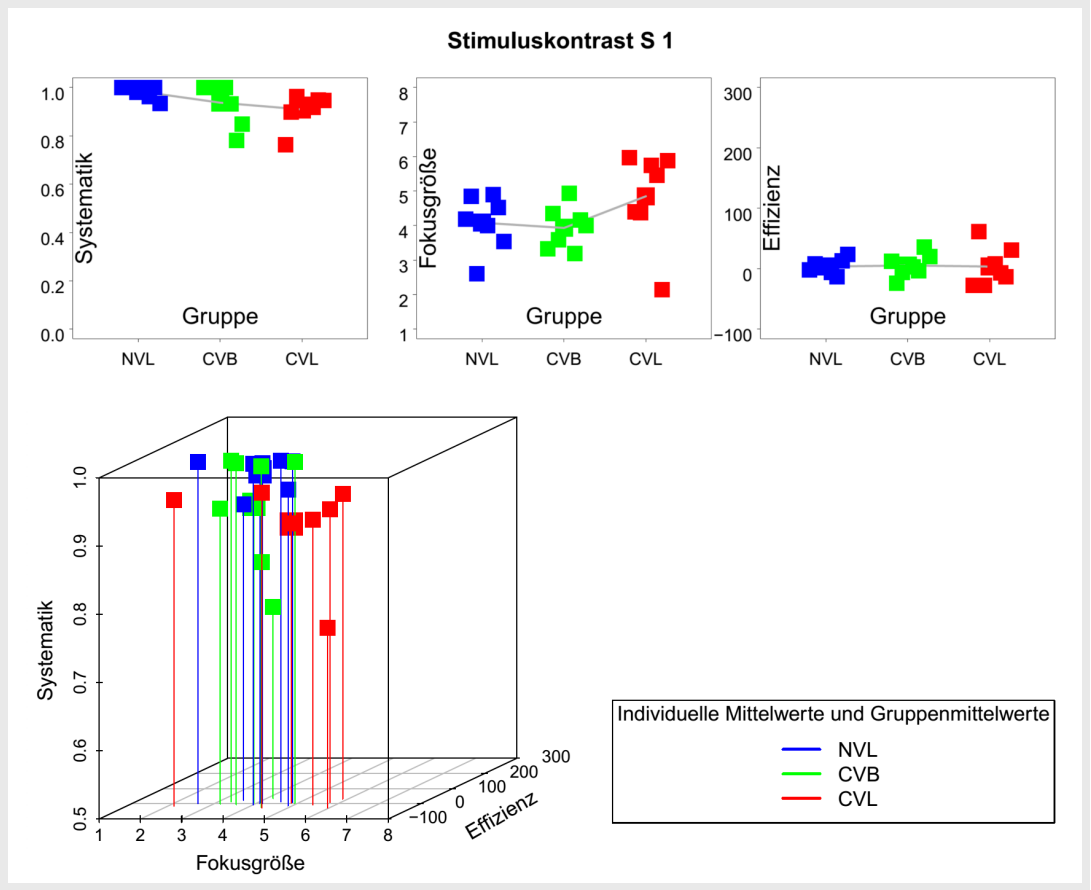



**Abbildung 7.8.:** Diese Abbildung ähnelt Abbildung 7.5 (S. 110), illustriert aber die individuellen Daten der Probanden jeder Gruppe (blau: Probanden der *NVL* Gruppe; grün: Probanden der *CVB* Gruppe und rot: Probanden der *CVL* Gruppe). Hier ist die Stimuluskontraststufe *S 1* abgetragen. Die Abbildungen über dem Kubus repräsentieren die drei Variablen einzeln. Die durchgezogenen Linien verkörpern die Mittelwertverläufe zwischen den Gruppen in der Stimuluskontraststufe *S 1*.

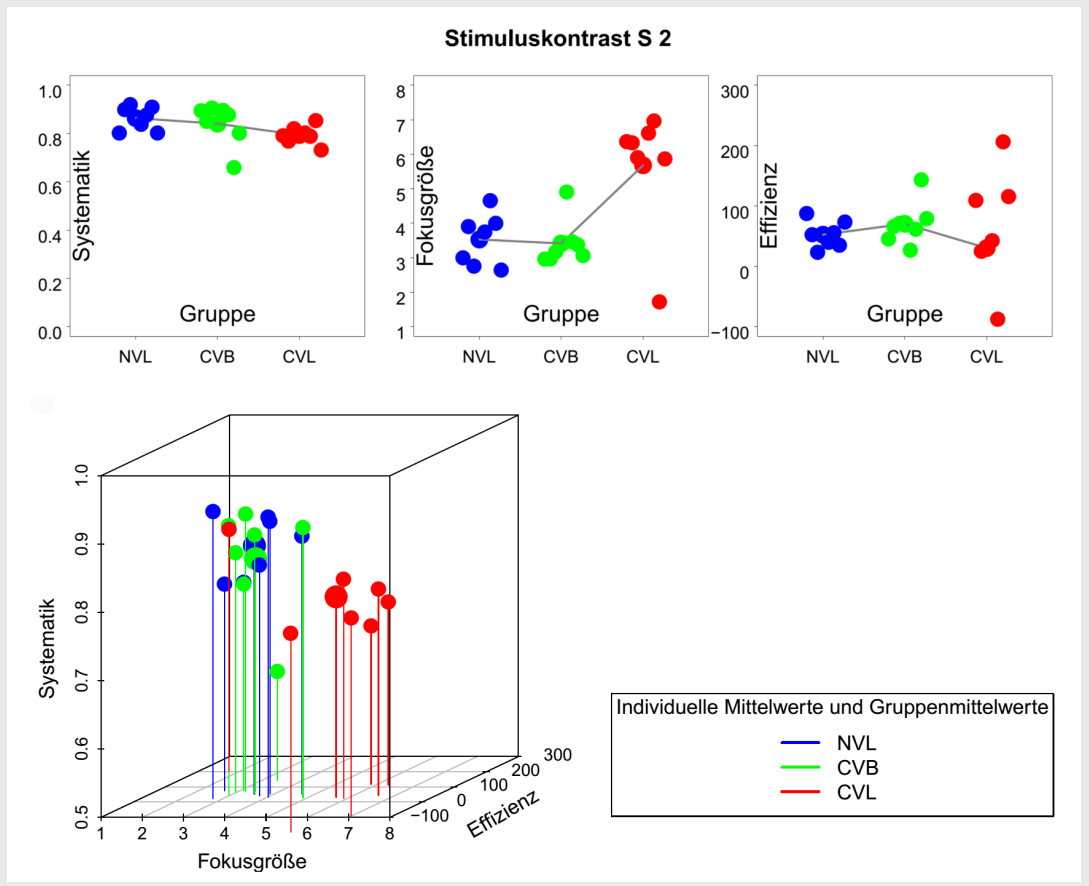



**Abbildung 7.9.:** Diese Abbildung ist ähnlich zu Abbildung 7.8 (S. 116) mit der Ausnahme, dass hier die Stimuluskontraststufe *S 2* dargestellt ist.

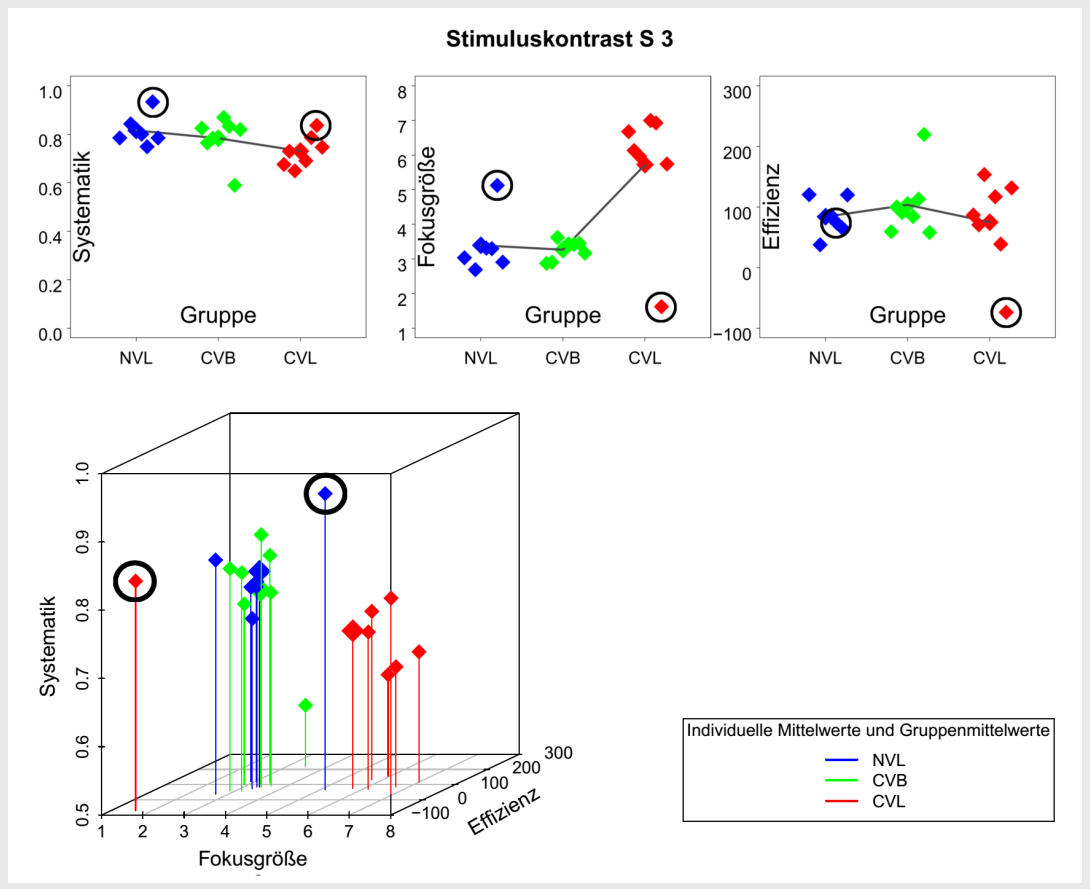



**Abbildung 7.10.:** Diese Abbildung ist ähnlich zu Abbildung 7.8 (S. 116) mit der Ausnahme, dass hier die Stimuluskontraststufe *S 3* dargestellt ist. Außerdem sind die oben benannten Ausreißer hier grau markiert.

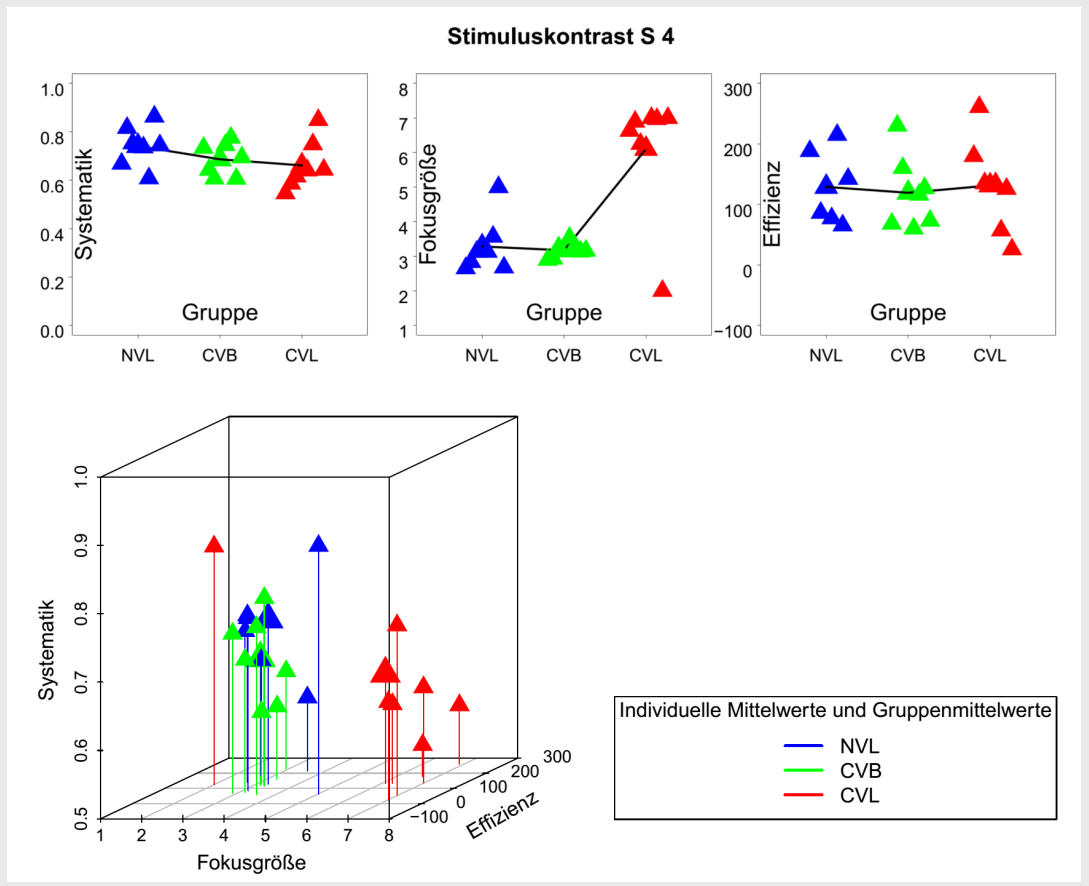



**Abbildung 7.11.:** Diese Abbildung ist ähnlich zu Abbildung 7.8 (S. 116) mit der Ausnahme, dass hier die Stimuluskontraststufe *S 4* dargestellt ist.

### 7.5.4 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Die individuellen Daten entsprechen mehrheitlich den Gruppenmustern. Interessanterweise wiesen vier Probanden der *CVL* Gruppe nicht nur eine konstant (große) *Fokusgröße* mit sinkendem *Stimuluskontrast* auf, sondern sogar steigende *Fokusgrößen*. Allerdings gab es in dieser Gruppe auch einen Ausreißer, welcher einen gegenteiligen Verlauf zeigte.

## 7.6 Analyse III: Unterschiede zwischen den Gruppen

In Analyse III wurde quantitative Veränderungen der *CVB* und der *CVL* Gruppe jeweils gegenüber der *NVL* Gruppe sowie untereinander geprüft.

### 7.6.1 Hypothesen

Die Annahmen sind in Abbildung 7.1 (S. 101) und Abbildung 7.2 (S. 102) veranschaulicht. Ausgehend von den hypothetischen Akkommodationsmustern der Salienzkarten beim Vorliegen eines zentralen (semi-opaken und opaken) Skotoms (vgl. Abschnitt 7.2.2, S. 100) werden Veränderungen für die *CVB* und die *CVL* Gruppe im Vergleich zur *NVL* Gruppe erwartet. Für die *CVB* Gruppe wird mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* eine *ineffizientere* und *unsystematischere* Suche mit kleineren *Fokusgrößen* im Vergleich zur *NVL* Gruppe angenommen. Für die *CVL* Gruppe wird ebenso eine *ineffizientere* und *unsystematischere* Suche mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen vermutet. Gleichzeitig wurde eine größere *Fokusgröße* angenommen als für die *NVL* bzw. als für die *CVB* Gruppe.

### 7.6.2 Analysemethoden

Es wurde für jede abhängige Variable eine Summenvariable über alle Stufen des Faktors *Salienz* gebildet (vgl. Tabelle 7.2, S. 121). Der Effekt der *Gruppe* (*NVL* versus *CVB* bzw. *NVL* versus *CVL* bzw. *CVB* versus *CVL*) wurde für jede abhängige Variable mittels Zwischengruppenkontrasten in einem einfaktoriellen Design mit dem Zwischengruppenfaktor *Gruppe* geprüft.

**Tabelle 7.2.:**
Design: Analyse III & IV

| | Stimuluskontrast | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Gruppe | S 1 | S 2 | S 3 | S 4 | Summenvariable |
| NVL | $X_{11}$ | $X_{12}$ | $X_{13}$ | $X_{14}$ | $X_{1sum} = X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}$ |
| CVB | $X_{21}$ | $X_{22}$ | $X_{23}$ | $X_{24}$ | $X_{2sum} = X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}$ |
| CVL | $X_{31}$ | $X_{32}$ | $X_{33}$ | $X_{34}$ | $X_{3sum} = X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34}$ |

$X_{jk}$: Mittelwert der entsprechend abhängigen Variable über die Anzahl der Durchgänge, mit $1 \leq j \leq 3$; $1 \leq k \leq 4$ (vgl. Abschnitt 7.6.2, S. 120)
Dies wurde für alle abhängigen Variablen realisiert.
Entsprechend der vorangegangen Analysen wurde nur *Objektanzahl* acht beachtet.

### 7.6.3 Ergebnisse

#### NVL Gruppe versus CVB Gruppe

Entgegen der Erwartung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der *Effizienz* ($t_{18} = .40, p = .40, \hat{d} = .27$), des *Fokus* ($t_{18} = -.80, p = .22, \hat{d} = .66$) oder der *Systematik* ($t_{18} = 1.01, p = .16, \hat{d} = .55$) zwischen den Probanden der *NVL* sowie der *CVB* Gruppe. Dennoch sind die erwarteten Richtungen für den *Fokus* und die *Systematik* tendenziell ($p \leq .1$) beobachtbar und in den deskriptiven Daten sichtbar (vgl. Tabelle 7.3, S. 122, erste Spalte versus zweite Spalte).

### NVL Gruppe versus CVL Gruppe

Die Probanden der *CVL* Gruppe zeigten entgegen der Erwartung ähnliche Ergebnisse bezüglich der *Effizienz* wie die *NVL* Gruppe ($t_{18} = -.37, p = .64, \hat{d} = -.20$). Wie erwartet suchten sie jedoch mit einer größeren *Fokusgröße* ($t_{18} = 3.11, p < .01, \hat{d} = 1.45$). Die Probanden der *CVL* Gruppe zeigten gleichfalls eine *unsystematischere* Suche als die Probanden der *NVL* Gruppe ($t_{18} = 2.15, p = .02, \hat{d} = 1.34$). Die deskriptiven Daten sind in Tabelle 7.3 (S. 122) abgetragen (erste Spalte versus dritte Spalte).

### CVB Gruppe versus CVL Gruppe

Bezüglich der *Effizienz* ($t_{18} = .80, p = .78, \hat{d} = -.39$) unterschieden sich die Ergebnisse der Probanden der *CVL* und der *CVB* Gruppen entgegen der Erwartung nicht signifikant. Der Vergleich der beiden Skotomgruppen offenbarte allerdings erwartungskonform, dass die Probanden mit einem opaken Skotom (*CVL* Gruppe) mit einer größeren *Fokusgröße* ($t_{18} = 4.07, p < .01, \hat{d} = 2.08$) suchten als die Probanden mit einem semi-opaken Skotom (*CVB* Gruppe). Wider der Erwartung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der *Systematik*($t_{18} = 1.78, p = .13, \hat{d} = .59$). Wenngleich die deskriptiven Ergebnisse eine *unsystematischere* Suche für die *CVL* Probanden anzeigten als für die *CVB* Probanden (vgl. Tabelle 7.3, S. 122, zweite versus dritte Spalte).

**Tabelle 7.3.:**
Analyse III - Quantitative Unterschiede zwischen den *Gruppen*

| | Gruppen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NVL | | CVB | | CVL | |
| | M | SD | M | SD | M | SD |
| Effizienz | 268.45 | 105.21 | 298.94 | 127.72 | 240.41 | 171.12 |
| Fokusgröße | 16.51 | 3.50 | 14.75 | 1.42 | 23.38 | 5.70 |
| Systematik | 3.40 | .19 | 3.26 | .20 | 3.18 | .22 |

Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD)
der Summenvariablen (vgl. Tabelle 7.2, S. 121).

**Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse**

Die Gruppenvergleiche offenbarten, dass die Probanden der *CVL* Gruppe größere *Fokusgrößen* aufwiesen als die der anderen Gruppen. Sie zeigten außerdem eine *unsystematischere* Suche als die *NVL* Gruppe und deskriptiv auch im Vergleich zu der *CVB* Gruppe. Die Probanden der *CVB* Gruppe zeigten nur deskriptiv die erwarteten quantitativen Veränderungen gegenüber den Probanden, die ohne Skotom suchten (*NVL*). Diese Unterschiede wurden wider Erwartung jedoch nicht signifikant. Diese Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, dass die *Fokusgröße* unterschiedlich zwischen den Gruppen ist und die Größeneinstellung adaptiv erfolgt.

## 7.7 Analyse IV: Diskriminanzanalyse

Abschließend wurde ergründet, inwiefern die Variablen tatsächlich zur Trennung der Gruppen beitragen.

### 7.7.1 Hypothesen

Mit Hilfe dieser Analyse soll explorativ geprüft werden, ob die *Fokusgröße* die *Gruppen* am stärksten trennt.

### 7.7.2 Analysemethoden

Abschließend wurde mittels einer Diskriminanzanalyse nach Fischer geprüft, wie die drei Variablen zwischen den *Gruppen* diskriminieren. Dafür wurden die Summenvariablen verwendet, welche für Analyse III (vgl. Tabelle 7.2, S. 121) gebildet wurden.

### 7.7.3 Ergebnisse

Abbildung 7.12 (S. 125) zeigt die Streuungsellipsoide der *Gruppen* im Variablenraum der drei abhängigen Variablen *Effizienz*, *Fokusgröße* und *Systematik*. Diese Abbildung verdeutlicht deskriptiv, dass die *Fokusgröße* die Gruppen am besten voneinander trennt. Das bestätigten auch die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse. Die erste Diskriminanzfunktion ergab:

$$Y = -.19 \times \mathit{Effizienz} - 1.15 \times \mathit{Fokusgröße} - .31 \times \mathit{Systematik}$$

Die standardisierten *Beta*-Gewichte lauteten: $\hat{\beta}_{Effizienz}$ =.68; $\hat{\beta}_{Fokusgroesse}$ =2.98 und $\hat{\beta}_{Systematik}$ =1.03. Damit trägt die *Effizienz* 14%, die *Fokusgröße* 68% und die *Systematik* 22% zur Diskriminierung der Gruppen bei. Tabelle 7.4 (S. 124) gibt die Ergebnisse der Klassifizierung der Probanden an. Insgesamt wurden 67% der Probanden zu den richtigen Gruppen klassifiziert. Die Kontrollprobanden wurden recht schlecht eingeordnet - nur drei von sieben Probanden wurden der *NVL* Gruppe korrekt zugewiesen. In der *CVB* Gruppe wurden fünf von sieben richtig zugeordnet. In der *CVL* Gruppe wurden sechs von sieben richtig eingeordnet. In dieser Gruppe war genau jener Proband auffällig, welcher bereits in der individuellen Datenanalyse (Analyse II) als Ausreißer identifiziert worden war. Abbildung 7.13 (S. 126) zeigt die Streuungsellipsoide im Variablenraum der abhängigen Variablen ohne diesen Ausreißer. Die Diskriminierung der Gruppen durch die Fokusgröße wird nun noch deutlicher.

**Tabelle 7.4.:**
Kontingenztafel tatsächlicher und vorhergesagter Gruppenzugehörigkeit

| | | vorhergesagte Gruppe | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | NVL | CVB | CVL | N |
| Gruppe | NVL | 3 | 4 | 0 | 7 |
| | CVB | 2 | 5 | 0 | 7 |
| | CVL | 0 | 1 | 6 | 7 |
| | N | 7 | 7 | 7 | 21 |

N = Probandenanzahl pro Gruppe

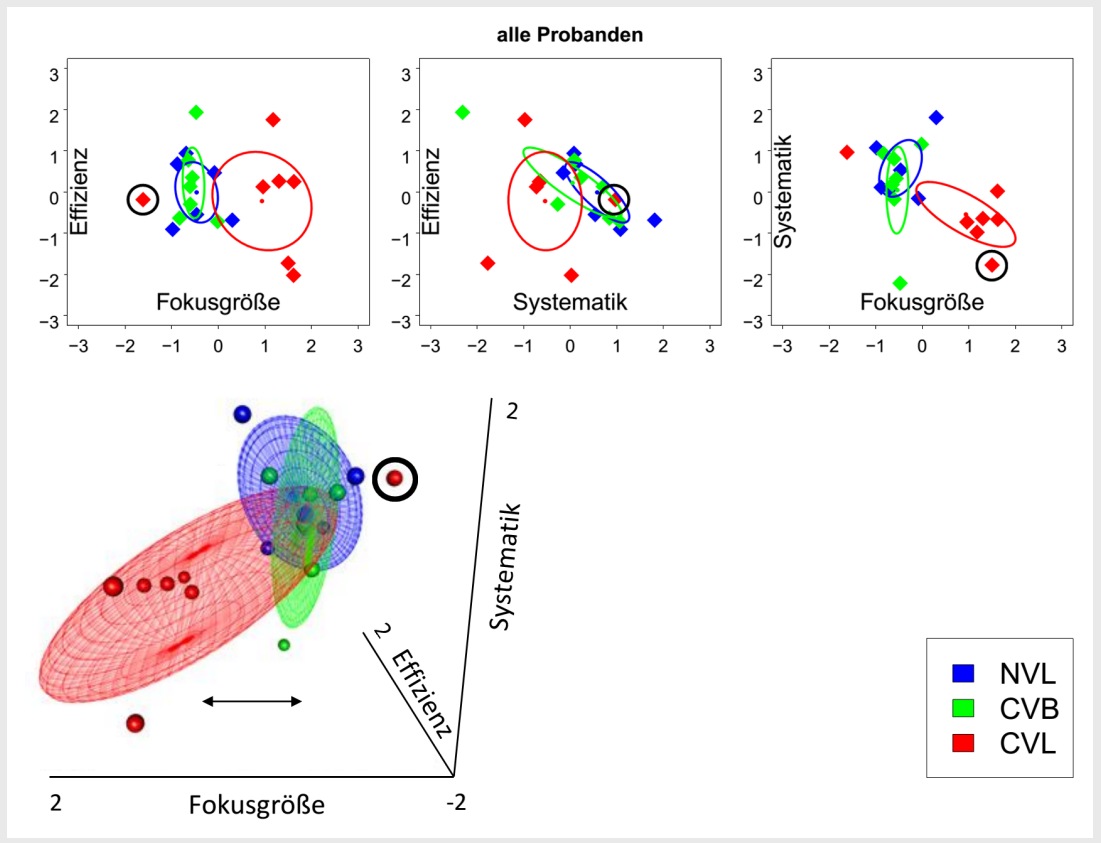



**Abbildung 7.12.:** In dieser Abbildung sind die Streuungsellipsoiden der Gruppen (*NVL*: blau; *CVB*: grün und *CVL*: rot) unter Einbezug aller Probanden des Experiments 1 illustriert. Darüber hinaus sind die zweidimensionalen Streuungsellipsoiden abgetragen. Der schwarze Pfeil zeigt die Richtung der stärksten Diskrimination an. Der Ausreißer der *CVL* Gruppe wurde hier grau markiert.

### 7.7.4 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Die *Fokusgröße* diskriminiert besser zwischen der Gruppe mit dem opaken simulierten Skotom (*CVL*) und den anderen beiden Skotomgruppen (kein Skotom: *NVL* und semi-opakes Skotom: *CVB*) als die *Effizienz* oder die *Systematik*. Insgesamt wurden 67% der Probanden richtig klassifiziert. Somit gelingt die Gruppentrennung aufgrund der drei Variablen insgesamt mäßig gut.

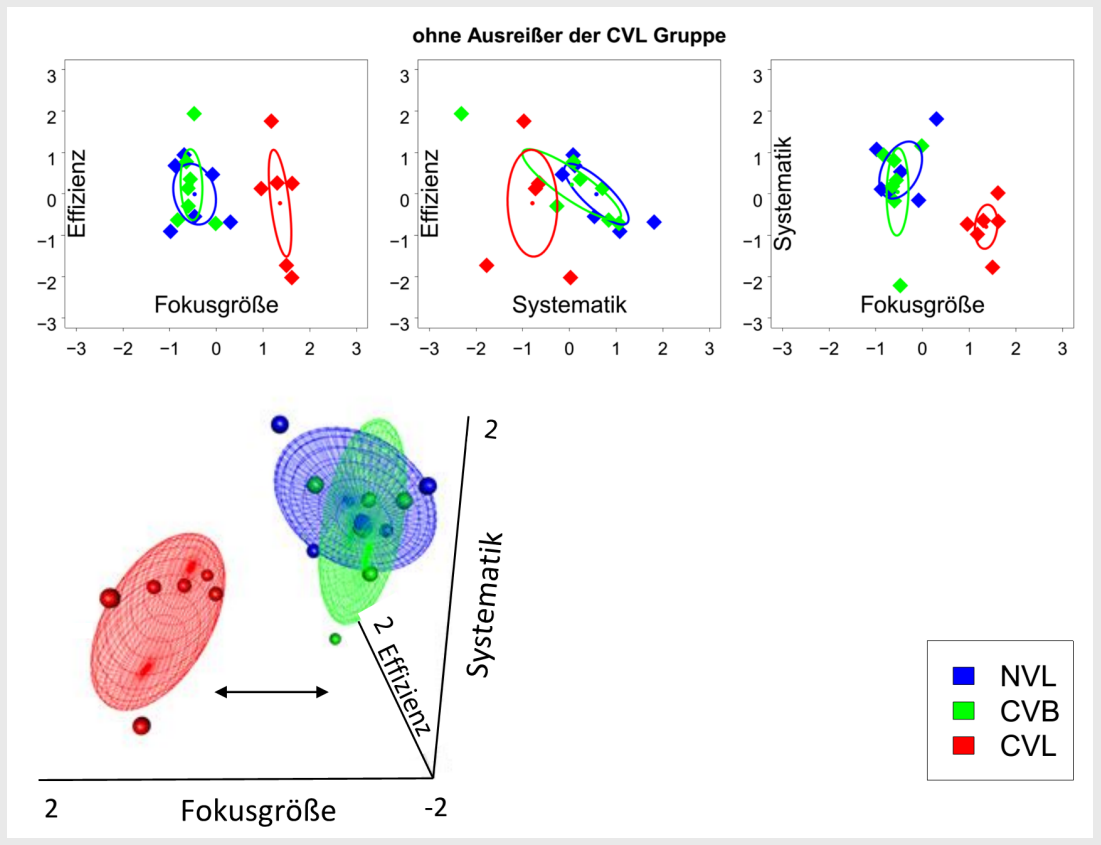



**Abbildung 7.13.:** Diese Abbildung ist ähnlich der Abbildung 7.12, (S. 125) mit der Ausnahme, dass der Ausreißer (Analyse II) der *CVL* Gruppe entfernt wurde.

## 7.8 Diskussion

### 7.8.1 Hintergrund

Die Vorhersagen salienzbasierter Modelle sowie die Verbindungen attentionaler und okulomotorischer Prozesse standen bereits in früheren Studien im Forschungsmittelpunkt (z.B. (Gilchrist & Harvey, 2006; Hogg & Chakravarthy, 2006; Müller-Plath, 2000; Wienrich et al., 2009)). Dabei wurden die Parameter für den Fall einer intakten fovealen Wahrnehmung beschrieben:
Je geringer der Stimuluskontrast ist, desto kleiner sollte die *Effizienz* sowie die *Systematik* der visuellen Suche sein. Je geringer der Stimuluskontrast ist, desto kleiner sollte auch die Fokusgröße sein, um die Salienz des Targets zu erhöhen. Die Akkommodation des Auf-

merksamkeitsfokus an einen sinkenden Stimuluskontrast wurde ferner mit der Abnahme der Sehschärfe von retinal zentralen zu retinal peripheren Bereichen (*Sehschärfegradient*) in Verbindung gebracht (Müller-Plath, 2000). Diese Annahme wurde unter Einbezug der auf Salienzkarten basierten Modelle konkretisiert: Dem Aufmerksamkeitsfokus liegen die retinalen Gebiete zugrunde, die genug Sehschärfe aufweisen, um das Target von Distraktoren zu diskriminieren (*Gradientenhypothese*). Bei einem hohen Stimuluskontrast sind das sowohl zentrale als auch periphere retinale Gebiete (großer Fokus), wohingegen es in dem Fall eines geringen Stimuluskontrastes nur retinal zentrale Gebiete sind (kleiner Fokus). Allerdings ist das Zentrum der Aufmerksamkeit und der Bereich des schärfsten Sehens bei intakter fovealer Wahrnehmung gekoppelt. Es stellt sich demnach die Frage, ob die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen Mechanismus darstellt.

Im Gegensatz dazu sind retinale Mechanismen, welche den vorhergesagten Parametern zugrunde liegen, für eine eingeschränkte und defekte foveale Wahrnehmung bisher nicht expliziert. Obwohl gerade bei einer defekten fovealen Wahrnehmung das Zentrum der Aufmerksamkeit von dem Bereich des schärfsten Sehens entkoppelt werden kann. In Kapitel 5 wurden bereits die folgenden Zusammenhänge für diese Fälle skizziert:
Wenn die foveale Wahrnehmung eingeschränkt ist (semi-opaker zSV), sinkt die Wahrnehmbarkeit des Targets, auch wenn die Reize physikalisch gut unterscheidbar sind (vgl. Abschnitt 6.3, S. 81). Der Aufmerksamkeitsfokus sollte dann entsprechend der Vorhersage der *Gradientenhypothese* klein sein.
Wenn die foveale Wahrnehmung defekt ist (opaker zSV), können zwei Hypothesen über die retinale Grundlage des Aufmerksamkeitsfokus kontrastiert werden. Wie eben beschrieben schlägt die *Gradientenhypothese* vor, dass alle retinalen Gebiete für die Targeterkennung genutzt werden, welche genügend Sehschärfe aufweisen. Da bei einem opaken zSV zentrale Bereiche defekt sind, werden alle potenziellen peripheren Bereiche angesprochen. Dies sollte sich in einem großen Fokus zeigen, welcher konstant bei verschiedenen Reizbedingungen ist. In Anlehnung an die Veränderungen des Fixationsverhaltens beim Vorliegen eines opaken zSV nimmt die *Fixationsorthypothese* hingegen an, dass nur ein peripheres Retinaareal für die Targeterkennung genutzt wird. Der Aufmerksamkeitsfokus sollte dann konstant klein bei allen Reizbedingen sein. Mit anderen Worten: Die *Gradientenhypothese* nimmt an, dass unterschiedlich stark ausgeprägte zentrale Skotome zu unterschiedlichen Fokusgrößen führen (adaptive Größeneinstellung), allerdings auf dem gleichen retinalen Mechanismus beruhen. Die *Fixationsorthypothese* nimmt demgegenüber einen anderen retinalen Mechanismus beim Vorliegen eines opaken zSV an und sagt ähnliche Fokusgrößen mit einer steigenden Targetsalienz vorher (Größeneinstellung hängt vom Fixationsverhalten ab).

> In Experiment 1 wurde untersucht, ob die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus an den Fixationsort gekoppelt ist oder ob sie einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus darstellt(*Fixationsorthypothese* versus *Gradientenhypothese*).

Es wurden Zentralskotome in drei Ausprägungen (*Skotomgruppe*) simuliert: kein Skotom (*NVL*); semi-opakes Skotom (*CVB*) sowie opakes Skotom (*CVL*). Die Akkommodation der attentionalen Prozesse wurde in einer klassischen offenen Merkmalssuche (vgl. Abschnitt 5.1, S. 58), angelehnt an Müller-Plath und Pollmann (2003), studiert, in welchem der *Stimuluskontrast* in vier und die *Objektanzahl* in drei Abstufungen variierte. Als Maße der visuellen Suchleistung wurden die *Effizienz*, die *Fokusgröße* und die *Systematik* betrachtet.

Für die *NVL* Gruppe eine *ineffizientere* und *unsystematischere* Suche mit einer *kleiner* werdenden *Fokusgröße* bei sinkendem *Stimuluskontrast* erwartet. Ein ähnliches Muster wurde auch für die Probanden der *CVB* Gruppe vorhergesagt. Entsprechend den Vorhersagen der *Gradientenhypothese* wurde für die *CVL* Probanden ebenso eine *ineffizientere* und *unsystematischere* Suche angenommen, wenn der *Stimuluskontrast* geringer wird. Im Gegensatz zu den anderen Gruppen wurde aber gleichwohl eine konstant *große Fokusgröße* in allen Stimuluskontraststufen erwartet. Aufgrund der angenommenen Veränderungen der Salienzkarten wurden weiterführend quantitative Veränderungen in den Skotomgruppen im Vergleich zu der Gruppe ohne Skotom postuliert.

### 7.8.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das typische Akkommodationsmuster an den *Stimuluskontrast* bei der visuellen Suche wurde für die Probanden mit keinem (*NVL*) und einem semi-opaken (*CVB*) zSV beobachtet. Mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* wurde die Suche *ineffizienter*, die *Foki kleiner* und die Suche *unsystematischer*. Es kann also zunächst festgehalten werden, dass ich mit Hilfe des vorliegenden Experiments in der Lage war, typische Suchmuster in einer Merkmalssuche zu erzeugen und frühere Befunde zu replizieren (z.B. Hooge & Erkelens, 1996, 1998; Näsänen et al., 2001). Die Probanden mit einem simulierten opaken Skotom (*CVL* Gruppe) suchten gleichfalls *ineffizienter* und *unsystematischer*, wenn der *Stimuluskontrast* geringer wurde. Im Gegensatz zu den Probanden der anderen beiden Gruppen zeigten sie dabei aber gleichbleibend *große Foki*. Die Betrachtung der individuellen Daten ergab neben einer Bestätigung der jeweiligen Gruppenmuster, dass vier der sieben *CVL* Probanden sogar mit einem *größer* werdenden *Fokus* suchten.
Abschließend zeigten sich entsprechend der Vorhersagen zur Akkommodation der Sali-

enzkarten, die erwarteten quantitativen Unterschiede zwischen den Gruppen, wenngleich nicht immer signifikant. Insbesondere fiel auf, dass die *CVL* Gruppe mit *größeren Fokusgrößen* suchte als die Probanden der anderen beiden Gruppen.
Diese Ergebnisse wurden durch die Diskriminanzanalyse unterstützt: Die *Fokusgröße* trug am stärksten zur Unterscheidung der Gruppen bei (64 %).

### 7.8.3 Einordnung in bisherige Befunde

#### Vergleich mit den Befunden von Cornelissen et al. (2005)

Wie in (Kapitel 5) erwähnt, variierten Cornelissen et al. (2005) vier Stufen der Skotomgröße, zwei Stufen der Skotomopazität sowie zwei Stufen des Stimuluskontrastes. In der vorliegenden Studie wurden drei Skotomstufen, in welchen die Größe und die Opazität zusammenfielen, präsentiert und vier Salienzstufen sowie drei Stufen der Objektanzahl manipuliert. Während die Abstufung des Stimuluskontrastes bei Cornelissen et al. lediglich einem Pol, dem eines geringen Stimuluskontrast, einzustufen ist, wurde in dieser Studie die Dimension in vier Schritten graduell variiert. Die Studien können also als gegenseitige Ergänzung betrachtet werden und somit erscheint ein ausführlicher Vergleich interessant. Visuell unterstützt wird er durch Abbildung 7.14 (S. 130).

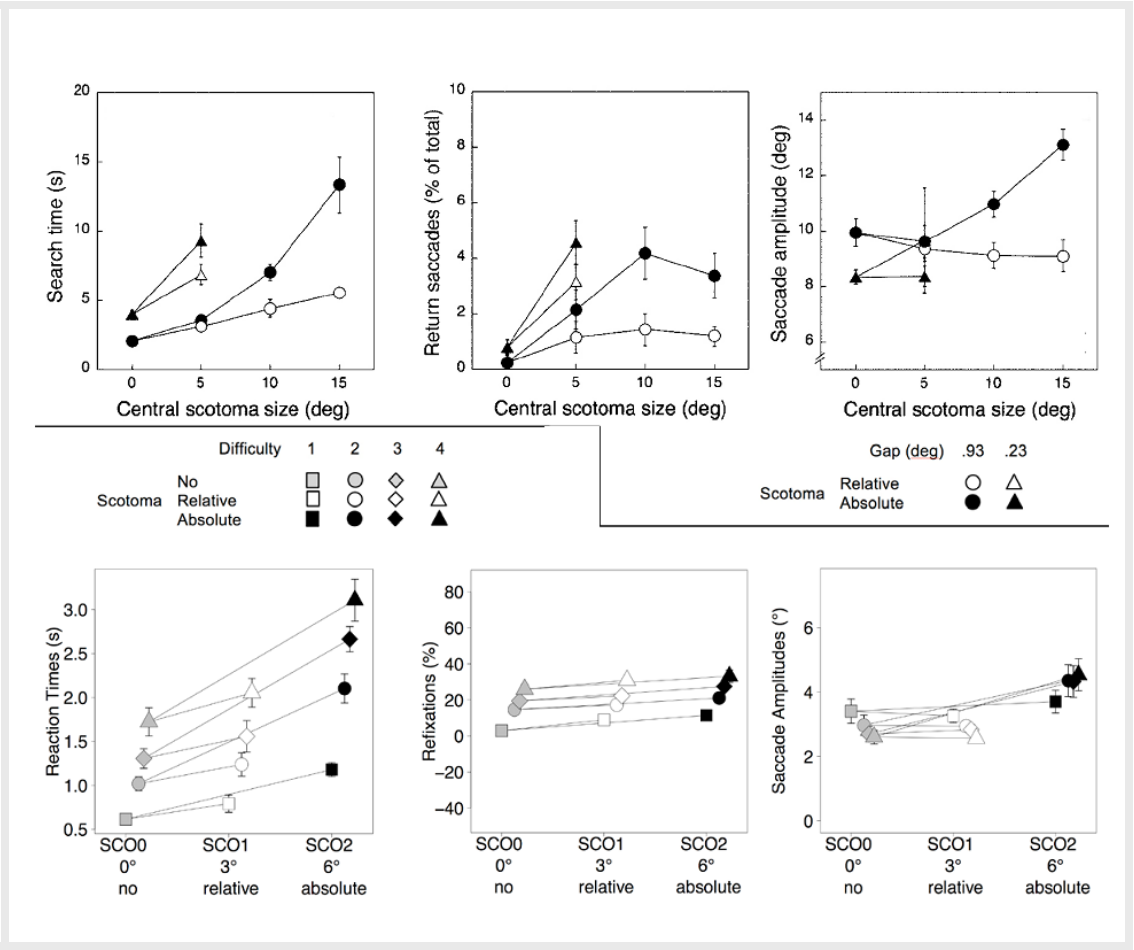



**Abbildung 7.14.:** Der obere Abschnitt präsentiert die Ergebnisse von Cornelissen et al. (2005) hinsichtlich der Reaktionszeiten (in Sekunden), der Mehrfachfixierungen (in %) sowie der Sakkadenamplituden (in °). Diese Graphen wurden in Anlehnung an ihre Abbildungen 3 und 4 (S. 31-32) modifiziert. Der untere Abschnitt stellt die Ergebnisse des hier vorgestellten Experiments 1 dar. Die Grafik ist auf Englisch abgebildet, da sie in Anlehnung an die englischsprachige Publikation von Cornelissen und Kollegen entstanden ist. *SCO0* ist mit der *NVL* Gruppe (kein Skotom), *SCO1* ist mit der *CVB* Gruppe (semi-opakes Skotom) und *SCO2* ist mit der *CVL* Gruppe (opakes Skotom) gleichzusetzen. *Difficulty* stellt hier den Faktor *Stimuluskontrast* dar.

Bezüglich der Reaktionszeiten und den Mehrfachfixierungen kann man aus beiden Studien ähnliche Ergebnisse ablesen. Sowohl die Reaktionszeiten als auch die Anzahl der Mehrfachfixierungen stieg mit einem abnehmenden Stimuluskontrast und zunehmender Skotomstärke an. Dass die Probanden in der Cornelissen-Studie generell längere Reakti-

onszeiten produzierten, überrascht nicht unter dem Gesichtspunkt, dass der Zielreiz unter 32 heterogenen Ablenkern gefunden werden sollten. Dies bestätigt darüber hinaus die Annahme eines recht geringen Stimuluskontrastes. Unterschiede bezüglich des Interaktionseffektes der Reaktionszeit zwischen den Faktoren Stimuluskontrast und Skotomgruppe (Interaktionseffekt vorhanden bei Cornelissen et al. (2005); hier kein signifikanter Interaktionseffekt) könnten durch eine höhere Varianzaufklärung des Faktors Stimuluskontrast in der vorliegenden Studie (0 bis circa 30%) im Vergleich zu der Studie von Cornelissen und Kollegen (0–4.5%) zustande gekommen sein. Außerdem analysierten Cornelissen und Kollegen die Systematik, definiert über die Änderung der Sakkadenrichtung (Abbildung 4 c in Cornelissen et al., 2005, S.32), mit der Dreifachinteraktion zwischen Skotomgröße, Skotomdurchsichtigkeit und Stimuluskontrast. Das könnte eine weitere Erklärung für die hier vorliegende Abwesenheit der Zweifachinteraktion sein. Dieses Ergebnis könnte allerdings ebenso darauf hinweisen, dass Opazität und Größe eines Zentralskotoms in Interaktion mit dem Stimuluskontrast einen unterschiedlichen Einfluss haben. Diese Implikation kann aufgrund der Konfundierung der beiden Skotommaße in der vorliegenden Studie nicht weiter vertieft werden, wird aber im Abschnitt 7.8.6 (S. 134) nochmals aufgegriffen.
Der Vergleich der Sakkadenamplituden erscheint schwieriger. Ähnliche Ergebnisse zeigten die Probanden beider Studien, welche mit keinem Skotom oder einem semi-opaken Skotom von 5° (Cornelissen et al.) bzw. 3° (hier) suchten. Die Sakkadenamplituden wurden mit abnehmendem Stimuluskontrast geringer. Das Ergebnis wurde von den Probanden bei Cornelissen et al., welche mit einem noch kleineren semi-opaken Skotom suchten (3°), bestätigt. Sie zeigten darüberhinaus, ähnlich wie die Probanden des Experiments 1, kleinere Sakkadenamplituden als die Kontrollgruppe.
Die konstant großen Sakkadenlängen, welche ich in der opaken Sktomgruppe (*CVL*) beobachtet habe, zeigten sich nicht in der Gruppe mit einem absoluten Skotom von 5° in Cornelissen et al. (2005). Die Manipulation des Stimuluskontrastes könnte erneut eine Erklärung für die Unterschiede sein. Eventuell war die Bedingung mit dem geringen Stimuluskontrast in der Cornelissen Studie so schwierig, dass eine Adjustierung des Aufmerksamkeitsfokus nicht mehr möglich war. Interessanterweise wurde diese Suchbedingung mit den anderen absoluten Skotomgruppen (10° und 15°) gar nicht berichtet. Jedoch bestätigen die Resultate des höheren Stimuluskontrastes bei Cornelissen und Kollegen unsere Befunde. Während die Sakkadenamplituden in der semi-opaken Skotomgruppe konstant blieben, wurden sie in der absoluten Skotomgruppe sogar größer, wenn die Größe des Skotoms stieg.

Zusammenfassend decken sich die Ergebnisse von Cornelissen et al. (2005) mit den hier präsentierten Resultaten. Unterschiede sind am ehesten auf eine unterschiedliche Manipulation des Stimuluskontrast und etwas eine andere Operationalisierung der abhängigen

Variablen zurückzuführen.

#### Andere relevante Bezüge zur bestehenden Literatur

Schon Kuyk et al. (2005) vermuteten, dass Items, welche für Normalsichtige salient sind, für Beobachter mit zentralen Skotomen nicht salient sind. Diese Annahme konnte durch die quantitativen Veränderungen der Gruppen mit semi-opaken (*CVB*) und opaken (*CVL*) Skotomen im Vergleich zu der Gruppe ohne Skotom (NVL) bestätigt werden (zumindestens tendenziell). Außerdem wurde diese Annahme in einen modellbasierten (*theoretischen*) Rahmen eingeordnet. Für weitere Bezüge zur bestehenden Literatur sei auf die Diskussion des Experiments 3 verwiesen (Kapitel 9).

### 7.8.4 Theoretische Implikationen

Die Vorhersagen salienzbasierter Modelle sowie die Verbindungen attentionaler und okulomotorischer Prozesse wurden in der Vergangenheit, meines Wissens nach, nur für den Fall einer intakten fovealen Wahrnehmung beschrieben. Die Akkommodation des Aufmerksamkeitsfokus an einen sinkenden Stimuluskontrast wurde ferner mit der Abnahme der Sehschärfe von retinal zentralen zu retinal peripheren Bereichen (*Sehschärfegradient*) in Verbindung gebracht (Müller-Plath, 2000). Diese Annahme wurde unter Einbezug der auf Salienzkarten basierten Modelle konkretisiert: Dem Aufmerksamkeitsfokus liegen die retinalen Gebiete zugrunde, die genug Sehschärfe aufweisen, um das Target von Distraktoren zu diskriminieren. Allerdings ist das Zentrum der Aufmerksamkeit und der Bereich des schärfsten Sehens bei intakter fovealer Wahrnehmung gekoppelt. Es stellt sich demnach die Frage, ob die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen Mechanismus darstellt. Darüber hinaus wurden die Vorhersagen auf die Fälle einer eingeschränkten (semi-opaker zSV) und defekten (opaker zSV) fovealen Wahrnehmung erweitert, da gerade bei einer defekten fovealen Wahrnehmung das Zentrum der Aufmerksamkeit von dem Bereich des schärfsten Sehens entkoppelt werden kann. Dafür wurden Hypothesen formuliert (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*), die beschreiben, wie ein Target gefunden werden kann, obwohl die Wahrnehmbarkeit des Targets geringer als bei Normalsichtigen ist. Genauer gesagt: Die Hypothesen sagen Veränderungen von Aufmerksamkeitsprozessen (Größe des Aufmerksamkeitsfokus) vorher, so dass die Salienz des Targets groß genug wird, um das Target zu finden. Bei einem semi-opaken zSV werden kleinere Fokusgrößen und bei einem opaken zSV werden größere Fokusgrößen angenommen (*Gradientenhypothese*). Gerade die Ergebnisse der *CVL* Gruppe bestätigten die Annahme der *Gradientenhypothese*. Foveale Sehverluste führen demnach eventuell zu anderen attentionalen Anpassungen, um das Target maximal sali-

ent zu machen.

Einschränkend sollte natürlich erwähnt werden, dass die eben beschriebene Akkommodation des Aufmerksamkeitsfokus und damit der visuellen Suchstrategie nicht ohne Kosten geschehen kann. Normalsichtige Probanden verkleinern in der Regel ihre Fokusgröße mit sinkendem *Stimuluskontrast* vor dem Hintergrund, so effektiv wie möglich den Zielreiz zu finden. Würde man Probanden mit intakter fovealer Wahrnehmung also dazu bringen, stets mit einer großen Fokusgröße zu suchen, würden sie gewiss längere Reaktionszeiten und mehr Mehrfachfixierungen aufweisen. Das auch Probanden mit zSV diese Akkommodation nicht ohne Kosten durchführen können, zeigte sich in dem hier vorliegenden Experiment im Wesentlichen in einem größeren Anteil an Mehrfachfixierungen und größeren absoluten Reaktionszeiten (berichtet wurden die Reaktionszeitanstiege mit zunehmender Objektanzahl). Die Kosten und Nutzen großer Aufmerksamkeitsfoki wird in Abschnitt 11.7.3 (S. 239) genauer diskutiert.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse von Experiment 1 darauf hin, dass der Vorgang, die Reichweite der Aufmerksamkeit zu adjustieren, nicht nur von dem Stimuluskontrast abhängt oder an das Fixationsverhalten gekoppelt ist, sondern einen kognitiven Mechanismus darstellt. Ferner scheint sich in ihr der Vorgang zu spiegeln, retinal geeignete Areale (gemessen an der Sehschärfe) für die Wahrnehmung von Objekten zu nutzen. Indizien, dass der Aufmerksamkeitsfokus seitlich verschoben zum Skotom *klein* gestellt wird bzw. nur ein retinal peripherer Fixationsort zur Zielreizerkennung genutzt wird (*Fixationsorthypothese*), konnten hier nicht gefunden werden.
Einschränkend muss allerdings deutlich gemacht werden, dass die hier vorgeschlagenen Kopplungen zwischen Aufmerksamkeitsfokus und retinalen Bereichen nur dann sinnvoll sind, wenn Merkmale analysiert werden, welche peripher wahrnehmbar sind. Weiterhin schließe ich nicht aus, dass andere Adaptationen (z.B. neuronale) ebenso einen Einfluss auf die Modulation von Aufmerksamkeit haben. Diese Mechanismen wurden in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

### 7.8.5 Praktische Implikationen

Unter der Annahme, dass die hier gewählten Skotomstufen (semi-opak und opak) mit natürlichen Zuständen eines zSV (z.B. unterschiedliche Stufen einer AMD) korrespondieren, legen die Ergebnisse des Experiments 1 unterschiedliche Akkommodationen an einen sinkende *Stimuluskontrast* für Patienten in verschiedenen Krankheitsstadien nahe. Das könnte Auswirkungen darauf haben wie Patienten versuchen, visuelle Suchaufgaben zu lösen. Gehen sie Schritt für Schritt vor oder tasten sie eher großräumig ab? Neben der

Erklärung divergierender Befunde (siehe oben) geben die vorliegenden Resultate Hinweise darauf, dass bei der Entwicklung von Blickbewegungstrainings die Art der Aufmerksamkeitsverteilung sowie der Progress des zSV Berücksichtigung finden sollte. Dieser Gedanke wird in der Gesamtdiskussion der Arbeit vertieft (Kapitel 11).

### 7.8.6 Offene Fragen

Zunächst konnte mit dem vorliegenden Experiment die Frage, inwiefern die Opazität oder Größe eines Zentralskotoms einen unterschiedlichen Einfluss auf die Akkommodation an einen sinkende *Stimuluskontrast* hat aufgrund der Konfundierung der beiden Skotommaße nicht beantwortet werden. Allerdings war es hier das Ziel der Skotomsimulation, natürlich entstandene Skotome so gut wie möglich abzubilden. Bei einer AMD Erkrankung beispielsweise entwickeln sich die Opazität und Größe im Krankheitsverlauf gemeinsam. Mit anderen Worten: In einer natürlichen Umgebung kann man die Maße ebenso wenig getrennt von einander betrachten. In Experiment 2 wurden dieser Einfluss dennoch kontrolliert und nur die Opazität variiert.

Weiter stellt sich die Frage, ob die Ergebnisse durch eine kurzfristige Akkommodation an die ungewohnte Sehsituation mit zentralen Skotomen hervorgerufen wurde. Sprechen in diesem Experiment die größeren Sakkadenamplituden beim Vorliegen eines opaken Skotoms tatsächlich für einen größeren Aufmerksamkeitsfokus oder sind sie schlicht durch eine *okulomotorische Irritation* hervorgerufen worden?
Diese Frage wird in Experiment 2 dieser Arbeit durch die Dekonfundierung von Augenbewegungen und Aufmerksamkeitsprozessen thematisiert.

Daran angelehnt, stellt sich die Frage, ob die Ergebnisse auf kurzfristige Akkommodationen beschränkt sind oder ob sie sich auf langfristige Adaptionsprozesse übertragen lassen. Fornos et al. (2006) berichteten unterschiedliche Kurz- und Langzeiteffekte auf Augenbewegungen in einer simulierten peripheren Sehsituation. Sie untersuchten die Anpassung der Okulomotorik, indem sie ihre Probanden mittels eines *moving windows* mit einer Exzentrizität von 15° Leseaufgaben lösen ließen. Die Probanden trainierten eine Stunde pro Tag und sechs Mal pro Woche. Die Ergebnisse der exzentrischen Sehbedingung wurde mit denen der zentralen Kondition verglichen. Zu Beginn zeigten die Probanden große vertikale Sakkaden sowie mehr Fixationen und mehr Mehrfachfixierungen in der exzentrischen Sehbedingung. Im Verlaufe des Trainings nahm die Anzahl an Fixierungen und Mehrfachfixierungen sowie die Amplitude der vertikalen Sakkaden ab. Demgegenüber stieg allerdings die Amplitude der horizontalen Sakkaden während des Lernprozesses. Fornos et al. (2006) schlussfolgerten daraus, dass es zwei Adaptionsphasen gibt. Die erste Phase

beschreibt die Unterdrückung reflexiver Sakkaden in die Fovea (*foveation*) und die zweite spiegelt eine Adaptation des okulomotorischen Systems wider. Selbst wenn man diesen Schlussfolgerungen folgt, bleibt völlig unklar, ob an die Adaptation der Okulomotorik auch eine Anpassung attentionaler Prozesse gekoppelt ist.
Die Frage, inwiefern die Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Experiments 1 abhängig von der Dauer eines zSV und damit von der Entwicklung von Langzeitadaptionen sind, wird in Experiment 3 dieser Arbeit anhand einer Patientenstichprobe, zusammengesetzt aus AMD Patienten mit unterschiedlich stark ausgeprägten zentralen Skotomen, aufgegriffen und zumindest im Ansatz zu untersuchen versucht.

## 7.9 Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung

Wenn Beobachter einem kurzfristigen zSV in einem offenen visuellen Suchexperiment ausgesetzt sind, weisen sie auch bei einem sinkenden *Stimuluskontrast* große Sakkadenamplituden auf. Dies könnte auf den Versuch hindeuten, intakte periphere Bereiche zu aktivieren und deutet weiter auf einen adaptiven Aufmerksamkeitsfokus hin, der größer als das zentrale Skotom ist (*Gradientenhypothese*). Offen bleibt, ob die großen Sakkadenamplituden hier tatsächlich große Aufmerksamkeitsfoki repräsentieren oder durch eine kurzfristige *okulomototorische Irritation* hervorgerufen wurden. Ungeklärt bleibt ebenso die Übertragbarkeit auf Langzeiteffekte eines zSV und die damit verbundenen Implikationen für die Praxis (z.B. Patiententrainings).

### Abkürzungen

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

CVB: semi-opakes Skotom; central vision blur

CVL: opakes Skotom; central vision loss

GS: Guided Search Model

KW: Kreiswinkel

M: Mittelwert

MSG: Modell der Sakkadengenerierung

NVL: kein Skotom; no central vision loss

S 1: Stimuluskontraststufe eins

S 2: Stimuluskontraststufe zwei

S 3: Stimuluskontraststufe drei

S 4: Stimuluskontraststufe vier

SD: Standardabweichung

STRAVIS: Strategien visueller Suche

zSV: zentraler Sehverlust

# 8
# Experiment 2


**Zusammenfassung**

**Hintergrund** Die Sakkadenmuster in Experiment 1 sprachen für eine *Weitstellung* der Aufmerksamkeit in Akkommodation an einen zSV (*Gradientenhypothese*). Alternative Erklärungen wie zum Beispiel eine *okulomotorische Irritation* konnten jedoch nicht ausgeschlossen werden. Ziel des vorliegenden Experiments war es, die Verteilung der Aufmerksamkeit unabhängig von Augenbewegungen abzubilden.

**Methode** In einem *single fixation* Paradigma wurde der *Stimuluskontrast* in zwei Stufen variiert. Das Target konnte zentral oder exzentrisch erscheinen (*Targetposition*). Dabei wurden die Größe des Bereichs, in dem das Target erscheinen konnte, durch einen auditiven Cue (*Fokuscue*) vor jedem Durchgang angekündigt. Äquivalent zu Experiment 1 wurden drei *Gruppen* simulierter Skotome unterschieden (kein Skotom: *NVL*; semi-opakes Skotom: *CVB*; opakes Skotom: *CVL*).

**Ergebnisse** Für exzentrische Targetpositionen (*TPOS 2*) wirkte sich ein sinkender *Stimuluskontrast* bei den *CVL* Probanden geringer aus als bei den Probanden der *NVL* Gruppe. Im Gegensatz zu Experiment 1 zeigten sich diese Muster allerdings auch für Probanden der *CVB* Gruppe.

**Diskussion** Auch ohne Augenbewegung deuteten die Ergebnisse auf eine *Weitstellung* des Aufmerksamkeitsfokus in Akkommodation an einen zSV hin. Eine reine *okulomotorische Irritation* konnte als Alternativerklärung demnach ausgeschlossen werden.

**Ausblick** In den nachfolgenden Experimenten 3 und 4 werden die Vorhersagen der *Gradientenhypothese* an Patienten mit natürlichen entstandenen zSV (AMD Patienten) untersucht.

**Schlüsselwörter**

simulierte Zentralskotome, Aufmerksamkeitsfokus, *single fixation*, okulomotorische Irritation

## 8.1 Hintergrund

In Experiment 1 wurden auf der Basis von Salienzmodellen die Annahmen der *Gradientenhypothese* geprüft. Sie trifft Vorhersagen bzgl. des Vorgangs die Größe des Aufmerksamkeitsfokus einzustellen und den zugrunde liegenden retinalen Mechanismen. Die Sakkadenmuster in Experiment 1 bestätigten zwar die Annahmen der *Gradientenhypothese*, allerdings konnten alternative Erklärungen nicht ausgeschlossen werden. Die Probanden waren nur kurzfristig mit einem simulierten Zentralskotom konfrontiert, so dass es zu hinterfragen gilt, ob tatsächlich attentionale und retinale Mechanismen die Veränderungen im Suchverhalten bedingen. Alternativ könnten die modifizierten Augenbewegungsmuster vielmehr ein Anzeichen für den Versuch der Probanden gewesen sein, das Skotom mit großen Sakkaden „beiseite zu schieben". Da das bloße „Wegschieben" (*okulomotorische Irritation*) in meinen Augen wenig mit der Idee veränderter Aufmerksamkeitsprozesse im Sinne eines großen Aufmerksamkeitsfokus gemein hat, habe ich die Frage nach adaptiven Aufmerksamkeitsprozessen mit einem zweiten Experiment weiter untersucht.

## 8.2 Exposé des Experiments 2

### 8.2.1 Fragestellung

In Experiment 2 konzentrierte sich die Forschungsfrage auf den folgenden Aspekt:

> Führt ein opakes, simuliertes Zentralskotom auch bei Abwesenheit von Augenbewegungen zu einer Weitstellung des Aufmerksamkeitsfous?

Mit dem Ziel eventuell aufgetretene *okulomotorische Irritationen* von veränderten Aufmerksamkeitsprozessen zu trennen, wurden vier Kernpunkte realisiert:

(i) Es wurde ein sogenanntes *Single Fixation Paradigm* (SFP, Müller-Plath & Elsner, 2007) verwendet, um eine Bewegung der Augen zur Zielreizentdeckung zu verhindern (verdeckte visuelle Suche; Vgl. Abschnitt 5.1, S. 58). Wie in Kapitel 3 dargelegt, hängen Augenbewegungsparameter von vielen Faktoren ab, so dass sie nicht *per se* angeben werden können. Was man allerdings sagen kann, ist, dass das okulomotorische System eine gewisse Zeit benötigt, um Sakkaden zu initiieren. In visuellen Suchaufgaben geht man gemeinhin davon aus, dass diese Zeit mindestens 200 ms umfasst (Rayner, 1998). Da hier Augenbewegungen zur Zielreizidentifikation ausgeschlossen werden sollten, wurde die maximale Reizdarbietungszeit auf 180 ms festgelegt.

(ii) Außerdem wurde die Größe des Aufmerksamkeitsfokus nicht indirekt erschlossen, sondern direkt manipuliert. Wenn durch einen opaken zSV tatsächlich *weiter* eingestellte Aufmerksamkeitsfoki hilfreich sind, um ein Target mit Hilfe von retinal intakten, peripheren Bereichen zu finden, sollten Bedingungen, in denen experimentell ein *weiter* Fokus intendiert ist, besser gelöst werden als solche, in denen ein *kleiner* Fokus gefordert wird. Müller-Plath und Elsner (2007) haben dies über die Instruktion und unterschiedlichen Targetauftretenshäufigkeiten an verschiedenen Positionen realisiert. Die Autoren präsentierten konzentrische Kreise mit unterschiedlichen Umfängen und ordneten diesen Nummern zu (vgl. Abbildung 8.1, S. 140). Wenn beispielsweise die Zahl eins dargeboten wurde, konnte ein Target nur in dem kleinsten Kreis erscheinen. Wenn die Zahl zwei präsentiert wurde, konnte ein Target nur in den beiden innersten Kreisen auftauchen, usw. Wenn die Zahl vier erschien, konnte das Target im gesamten Suchdisplay erscheinen. Ziel dieser Variation war es, die Fokusgröße entsprechend zu manipulieren. Die Ergebnisse der Autoren sprechen dafür, dass dies gelungen ist. Wenn das Target nur in dem kleinsten Kreis erscheinen konnten, zeigten die Probanden die größte Antwortgenauigkeit (*eng* eingestellte Aufmerksamkeit). Wenn das gesamte Display zu beachten war, sank die Genauigkeit (*weit* eingestellte Aufmerksamkeit).

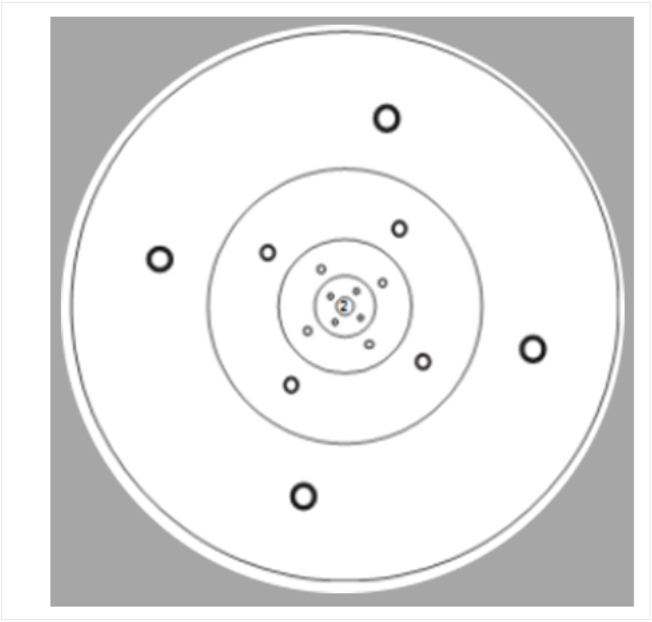



**Abbildung 8.1.:** Diese Abbildung illustriert den Ablauf in Müller-Plath & Elsner, 2007 (Abbildung 2, S.606). Die „2“ im Zentrum gibt an, dass die beiden inneren Kreise für die Suche relevant waren.

(iii) Der Stimuluskontrast wurde in diesem Experiment mit Hilfe der Ähnlichkeit zwischen den Disktraktoren variiert. In Anlehnung an Duncan und Humphreys (1989) sollten homogene Disktraktoren einen hohen Stimuluskontrast des Targets zu den Distraktoren und heterogene Disktraktoren einen geringen Stimuluskontrast des Targets zu den Distraktoren bedingen. Ähnlich wie in Experiment 1 wurden diese Bedingungen geblockt dargeboten, so dass sich die Probanden über eine bestimmte Anzahl von Durchgängen auf eine Reizausprägung einstellen und ihre Aufmerksamkeitsverteilung planen konnten.

(iv) Ähnlich wie im ersten Experiment wurden Zentralskotome in drei Ausprägungen simuliert - kein Skotom (*NVL*), ein semi-opakes Skotom (*CVB*) sowie ein opakes Skotom (*CVL*). In Anlehnung an die Diskussion von Experiment 1 wurde die Größe der simulierten Skotome in allen Gruppen konstant gehalten und nur die Opazität variiert.

### 8.2.2 Erwartungen

In Anlehnung an die Ergebnisse von Müller-Plath und Elsner (2007) nehme ich an, dass die Erkennungsleistung in der *NVL* und der *CVB* Gruppe bei eng fokussierter Aufmerksamkeit größer ist als bei weit fokussierter Aufmerksamkeit. Aufgrund des simulierten opaken zSV vermute ich jedoch, dass sich ein umgekehrtes Muster in der *CVL* Gruppe zeigt. Darüber hinaus nehme ich für den Zwischengruppenvergleich an, dass die *CVL* Gruppe ihre Aufmerksamkeit mehr auf exzentrische Stimuluspositionen verteilt (*Gradientenhypothese*). Dies sollte sich im Verlaufe des Experiments vor allem in Leistungsunterschieden in der Bedingung der weit fokussierten Aufmerksamkeit zeigen.

## 8.3 Methode

### 8.3.1 Probanden

Acht Probanden suchten mit einem opaken Zentralskotom (CVL; mittleres Alter: 32.38 Jahre; Spanne: 20 bis 44 Jahre; drei Männer) und acht Probanden suchten mit einem semi-opaken Skotom (CV; mittleres Alter: 33.50 Jahre; Spanne: 24 bis 50 Jahre; vier Männer). Die Skotomgruppen wurden mit acht Kontrollprobanden verglichen, welche ohne zentrale Sichteinschränkung suchten (NVL; mittleres Alter: 32.25 Jahre; Spanne: 24 bis 50 Jahre; vier Männer). Alle Teilnehmer wiesen normale oder auf normal korrigierte Sehfähigkeiten auf. Die Teilnehmer erhielten Versuchspersonenstunden oder Geld für die Partizipation an dem Experiment.

### 8.3.2 Apparatur

Die Reize wurden mit Python (http://www.python.org/) auf einem Monitor mit einer Breite von 320 mm und einer Höhe von 370 mm sowie einer Bildwiederholungsfrequenz von 100 Hz und einer Auflösung von 1024 × 768 px erzeugt. Die Augenbewegungen wurde mit einem *Eye Eyelink 1000 Desktop Mount* (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) aufgezeichnet. Dafür wurden die sogenannte *corneal reflection* und das *pupil tracking* verwendet. Die Kopfposition der Probanden wurden mit einer Kinnstütze in einem Abstand von 810 mm zum Monitor gefestigt. Die Probanden antworteten jeweils mit ihren Zeigefingern auf den beiden oberen Tasten eines handelsüblichen *gamepads* (Microsoft: *SideWinder*). Zu Beginn jedes Blocks (je 24 Trials) wurde eine Neun-Punkt-Kalibrierung und Validierung der Genauigkeit der Blickmessung durchgeführt. Nach jedem sechsten Trial wurde erneut ein Fixationspunkt in der Mitte des Bildschirms präsentiert, um Abweichungsfehler zu korrigieren (*drift corection*). In den Skotomgruppen wurden nach Bedarf auch innerhalb der Blöcke Kalibrierungen durchgeführt.

### 8.3.3 Stimuli

Das Target war ein aufrechtes *L* und die Distraktoren wurden durch dessen Rotation um 90°, 180° oder 270° gebildet. Die senkrechte und horizontale Linien waren immer gleich lang. Dabei wurde der *Stimuluskontrast* über die Homogenität der Distraktoren variiert. Sie waren in einem Durchgang entweder homogen untereinander (hoher *Stimuluskontrast*, *S 1*) oder heterogen (geringer, *Stimuluskontrast*, *S 2*). Die Variation des *Stimuluskontrastes* erfolgte geblockt. Die Reize wurden sowohl auf einem imaginären Kreis mit einem Durchmesser von 3° als auch von 8° positioniert. Die genaue Position auf dem Kreis wurde in jedem Durchgang zufällig bestimmt, allerdings so festgelegt, dass Reize gleiche Abstände zueinander aufwiesen. Über alle Durchgänge hinweg tauchten die Reize gleich häufig in allen Quadranten auf. Es wurden stets acht Stimuli präsentiert, vier im inneren Kreis und vier im äußeren Kreis. In der Hälfte der Durchgänge war ein Target dabei (*Targetpräsenz*). Die *Targetposition* variierte in zwei Stufen. Es konnte auf dem inneren Kreis (*TPOS 1*) erscheinen oder auf dem äußeren (*TPOS 2*). Dabei waren die Reize, welche an *TPOS 1* präsentiert wurden, 0.621° groß (Linienstärke: 2 px). Die Reize an *TPOS 2* wurden entsprechend dem kortikalen Vergrößerungsfaktor nach Virsu und Hari (1996) angepasst (1.14°; Linienstärke: 6 px). Darüber hinaus waren stets zwei Kreise (kleiner Kreis: 6°; großer Kreis: 10°; Linienstärke: 1 px) über den gesamten Versuch sichtbar. Sie dienten als *Fokuscue*. Wenn die Zahl eins ertönte, wusste der Proband, dass ein Target nur innerhalb des kleinen Kreises auftauchen konnte (*FCUE 1*). Bei der Zahl zwei konnte das Target überall (innerhalb des großen Kreises) erscheinen (*FCUE 2*). Der Fo-

kuscue war stets valide. Die quadratischen Zentralskotome wurden wie in Experiment 1 durch eine Farbanpassung der Items an die Hintergrundfarbe (Luminanz: 11.07 cd/m2; xy-CIE-Koordinaten: 0.28, 0.31) simuliert. Die Skotomstärke (*Gruppe*) wurde durch die Opazität der Skotome bestimmt. Probanden in der *CVL* Gruppe suchten mit einem Skotom, welches den inneren Itemkreis vollständig verdeckte (6° Quadratdiagonale; $\alpha$=0; vgl. Kapitel 7). In dieser Bedingung waren die Versuchspersonen auf das periphere Sehen angewiesen. Der Blick der *CVB* Gruppe wurde durch ein semi-opakes Skotom ($\alpha$=.5) von 6° Quadratdiagonale begleitet. Im Unterschied zu Experiment 1 wurde hier lediglich die Skotomopazität variiert. Die Skotomgröße wurde konstant gehalten. Die Probanden der *NVL* Gruppe suchten ohne Skotom ($\alpha$=1). Die Simulation erfolgte blickkontingent. Die Bildwiederholungsfrequenz determinierte eine minimale Verzögerungszeit (10 ms) bei der Präsentation des Skotoms. Diese war subjektiv nicht wahrnehmbar.

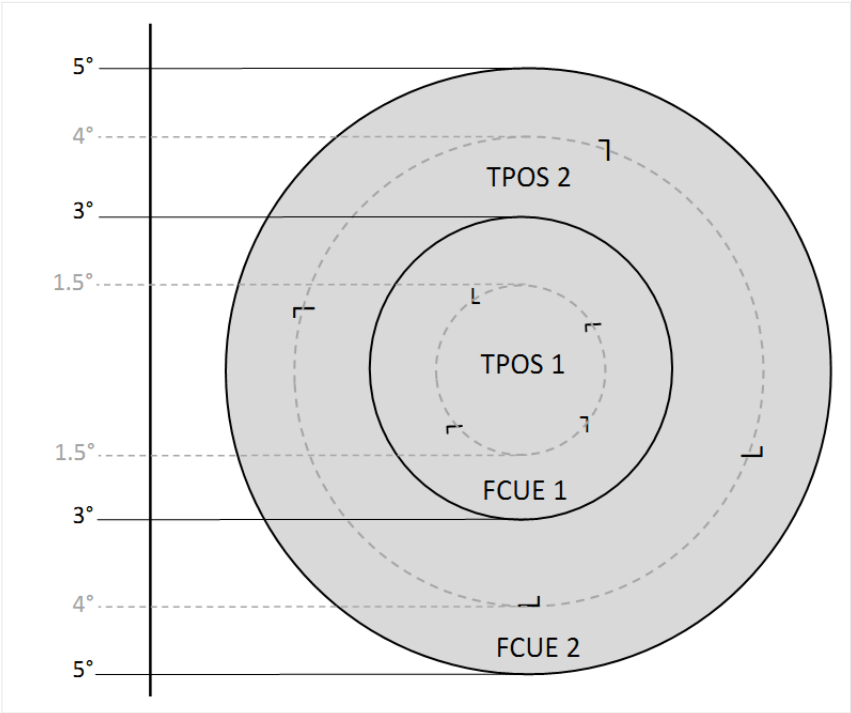



**Abbildung 8.2.:** Hier ist ein Beispieldisplay in der Stimuluskontraststufe S 2 abgebildet. Der Zielreiz befindet sich auf elf Uhr. Die Kreise mit schwarzer Umrandung waren stets sichtbar und geben den Bereich an, in denen die Reize erscheinen können (*FCUE 1*: 6°; *FCUE 2*: 10°). Die Kreise mit der grau gestrichelten Umrandung zeigen die imaginären Kreise an, auf denen die Reize lagen (*TPOS 1*: 3°; *TPOS2*: 8°). Die Angaben sind in Grad visueller Sehwinkel.

### 8.3.4 Versuchsdurchführung

#### Vorphase

Nach einer schriftlichen Instruktion schlossen sich 24 Übungsdurchgänge an.
Es folgte eine Vorphase, durch welche eine individuelle Darbietungszeit zwischen 100 ms und 180 ms ermittelt wurde (120 Trials). Ziel war es, die Aufgabe in einer Bedingungskombination für alle *gleich* schwierig zu machen und spätere Boden- und Deckeneffekte zu vermeiden. Da erwartet wurde, dass die *CVL* Gruppe in der *TPOS 1*-Bedingung nur auf Zufallsniveau antworten kann, wurde die Vorphase in allen Gruppen nur für die Bedingung *TPOS 2* (*FCUE 2*) durchgeführt.[1] Weiterhin wurde nur die erste Stimuluskontraststufe (*S 1*) in der Vorphase dargeboten. Mit der Konstanzmethode wurde die Zeit festgelegt, bei der die Probanden 70 % korrekte Antworten in der Bedingungskombination *FCUE 2* und *TPOS 2* der Faktoren *Fokuscue* und *Targetposition* zeigten. Dafür wurden je 12 Durchgänge mit Präsentationszeiten von 180 ms, 160 ms, 140 ms, 120 ms und 100 ms dargeboten. Danach folgten ebenso viele Durchgänge mit umgekehrter Zeitenreihenfolge. Durch diese Prozedur ergaben sich für die *NVL* Gruppe im Mittel 114 ms (Spanne 100 ms–140 ms), für die *CVB* Gruppe 132 ms (Spanne: 100 ms–173 ms) und die *CVL* Gruppe 119 ms (Spanne: 100 ms–167 ms). Die Präsentationszeiten unterschieden sich zwischen den Gruppen nicht signifikant voneinander ($F_{2,22} = .40$, $p = .68$).

#### Experimentalphase

Der experimentelle Ablauf war an die bereits erwähnte Studie von Müller-Plath und Elsner (2007) angelehnt und ist in Abbildung 8.3 (S. 147) veranschaulicht. Zunächst sollten die Probanden einen Fixationspunkt (.4°) fixieren. Diese Fixation sollten sie während eines Durchgangs beibehalten. In dieser Untersuchung war der Fixationspunkt auf dem Präsentationsbildschirm aufgeklebt, damit auch die Probanden mit simulierten Skotomen eine Fixationsorientierung zu Verfügung hatten.[2] Jeder Durchgang startete folgend mit der Darbietung der beiden Kreise und einer auditiv dargebotenen Zahl, welche den Bereich angab, in dem der Zielreiz erscheinen konnte (*FCUE 1* oder *FCUE 2*). Es folgten

[1] Die Zeitfestlegung erfolgte mit Hilfe der Bedingung *TPOS 2*, da die Probanden der *CVL* Gruppe keine Reize an *TOPS 1* wahrnehmen konnten. Dies birgt die Gefahr, dass auch die Probanden der anderen beiden Gruppen zunächst lernen, dass eine weite Aufmerksamkeitsfokussierung günstig ist. Im Laufe des Hauptexperiments sollten diese Lernerfahrungen allerdings überschrieben werden. Dieser Einwand wird in der Diskussion des vorliegenden Experiments aufgegriffen.

[2] Dieser aufgeklebte Fixationspunkt löst eine foveale Stimulation aus, welche bei Patienten mit zSV nicht vorhanden ist. Inwiefern diese Stimulation die Wahrnehmungssituation beeinflusst ist nicht klar. Es wurde sich dennoch für ein solches Vorgehen entschieden, da sichergestellt werden sollte, dass die Probanden in allen Gruppen ihren Blick auf die Mitte lenken.

nach 1000 ms die Stimuli für die individuell ermittelte Darbietungszeit. Die Aufgabe der Probanden war es, mittels Tastendruck so schnell und so genau wie möglich anzugeben, ob ein Zielreiz (aufrechtes L) unter den Items war (linker Tastendruck) oder nicht (rechter Tastendruck). Nach einem auditiven Feedback über die Korrektheit der Antwort startete nach 1000 ms ein neuer Durchgang.
Die Bedingungen der Faktoren *Fokuscue* und *Stimuluskontrast* wurden geblockt dargeboten. Ein Block umfasste 24 Durchgänge. Insgesamt gab es 12 Blöcke mit 288 Trials pro Bedingungskombinationen dieser Faktoren, so dass jeder Proband insgesamt 2304 Trials durchführte. Die Reihenfolge der Blöcke wurde zufällig ausgewählt. Ein Block mit den gleichen Bedingungskombinationen wurde nicht direkt wiederholt. Nach jedem Block bestand die Möglichkeit einer Pause. Die Probanden konnten weiterhin jeder Zeit bestimmen, wann sie eine Sitzung beenden wollten. Pro Tag durfte jeder Proband maximal zwei Sitzungen mit mindestens zwei Stunden Pause dazwischen durchführen. Insgesamt dauerte der Versuch zwischen zwei und drei Stunden.

### 8.3.5 Versuchsplan

Insgesamt lag dem Versuch ein 3 (*Gruppe*) × 2 (*Stimuluskontrast*) × 2 (*Fokuscue*) × 2 (*Targetposition*) × 2 (*Targetpräsenz*) Design zugrunde, wobei bis auf *Gruppe* alle Faktoren *within-subject* Faktoren waren. Der Faktor *Targetpräsenz* wurde für die Bestimmung der abhängigen Variablen nicht benötigt und wird somit nicht weiter beachtet. Zu beachten gilt weiterhin, dass in der Faktorstufe *FCUE 1* nur eine Stufe des Faktors *Targetposition* (*TPOS 1*) vorkommen konnte. Die relevanten Faktorkombinationen sind in Form einer Erwartungswerttabelle veranschaulicht (Tabelle 8.1, S. 146).

**Tabelle 8.1.:**
Design

g = 1,2,3 (NVL, CVB, CVL)

TPOS 1

| FCUE | Stimuluskontrast S 1 | S 2 | Σ |
|---|---|---|---|
| 1 | $\mu_{g111}$ (288) | $\mu_{g112}$ (288) | $\mu_{g11.}$ (576) |
| 2 | $\mu_{g121}$ (144) | $\mu_{g122}$ (144) | $\mu_{g12.}$ (288) |

TPOS 2

| FCUE | Stimuluskontrast S 1 | S 2 | Σ | Σ | Σ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $\mu_{g211}$ (0) | $\mu_{g212}$ (0) | $\mu_{g21.}$ (0) | $\mu_{g.1.}$ (576) | $\mu_{DgF}$ |
| 2 | $\mu_{g221}$ (144) | $\mu_{g222}$ (144) | $\mu_{g22.}$ (288) | $\mu_{g.2.}$ (576) | |
| | $\mu_{DgF2}$ | | | | |

**Tabelle 8.1.:**
Design (Fortsetzung)

g = 1,2,3 (NVL, CVB, CVL)

| | Stimuluskontrast | | | | Stimuluskontrast | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TPOS 1 | S 1 | S 2 | Σ | TPOS 2 | S 1 | S 2 | Σ | Σ | Σ |
| Σ | $\mu_{g1.1}$ (432) | $\mu_{g1.2}$ (432) | | Σ | $\mu_{g2.1}$ (144) | $\mu_{g2.2}$ (144) | | | |
| | | | | | | | | $\mu_{g..1}$ (576) $\mu_{g..2}$ (576) | $\mu_{DgS}$ |
| | | | | | | | | | $\mu_{g...}$ (1152) |

$\mu$: Erwartungswerte (Anzahl der Trials); $\mu_{Dg.}$ gibt die Erwartungswerte später gebildeter Differenzvariablen an. TPOS 1: Targetposition innen; TPOS 2: Targetposition außen; FCUE 1: Fokuscue innen; FCUE 2: Fokuscue außen; Grau sind die Erwartungswerte markiert, die für die Auswertung von Bedeutung sind (hellgrau: Analyse I; dunkelgrau: Analyse II).

## Abhängige Variablen

In diesem Experiment wurde der Anteil korrekter Antworten, gebildet über Durchgänge mit und ohne Target, ausgewertet. Mit anderen Worten gingen sowohl *Treffer* und *korrekte Zurückweisungen* als auch *Verpasser* und *falsche Alarme* in die Analyse ein.[3]

[3]Da relative Häufigkeiten nicht normalverteilt sind, wurde für jede Analyse eine *Arkusinus-Wurzel-Transformation* der relativen Häufigkeiten durchgeführt (Baker, 1934). Die Ergebnisse unterschieden sich nicht von denen ohne eine solche Transformation. Zu Gunsten einer besseren Lesbarkeit wurde sich dafür entschieden, die nicht transformierten Werte darzustellen.

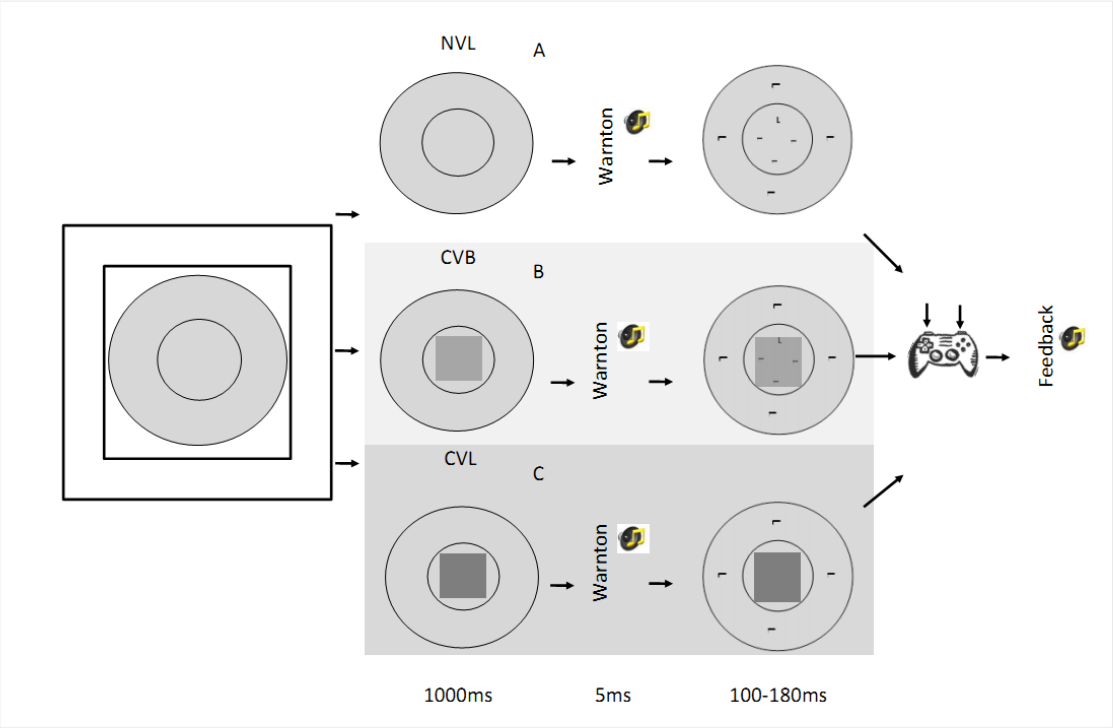



**Abbildung 8.3.:** Diese Abbildung illustriert den Ablauf eines Durchgangs. Auf dem Bildschirm war ein Fixationspunkt aufgeklebt, welcher während des gesamten Experiments zu sehen war. Dieser Punkt ist hier nicht abgebildet. Für alle Gruppen erschienen zwei Kreise und auditiv der *Fokuscue*. Wenn die Zahl eins dargeboten wurde, konnte der Zielreiz nur im inneren Kreis erscheinen, wenn die Zahl zwei zu hören war, konnte der Zielreiz innen und außen auftauchen. Nach einer Fixationsdauer von 1000 ms wurden die Reize für die individuell ermittelte Darbietungszeit präsentiert. Dann gaben die Probanden ihre Entscheidung via Tastendruck auf einem Gamepad ab. Nach einer Rückmeldung über die Korrektheit der Antwort startete ein neuer Durchgang. Die *CVB* und *CVL* Gruppe sah blickkontingent das simulierte Skotom (B: semi-opak; C: opak), während die *NVL* Gruppe stets eine freie Sicht hatte (A: kein Skotom).

## Analyse

Die Analyse erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurde geprüft, ob die experimentellen Manipulationen erfolgreich waren (Analyse I). Anschließend wurde die Hauptfragestellung untersucht (Analyse II).
Ähnlich wie in Experiment 1 wurde das Signifikanzniveau pro Test auf ein $\alpha = .05$ oder auf ein $\alpha = .20$ festgesetzt, je nachdem, ob die Erwartungen der $H_1$ oder der $H_0$ entsprachen.[4] Wenn ein $\alpha$ von .05 gewählt wurde, zeigte hier ein $p \leq .1$ tendenziell die erwartete

[4]Bei Mehrfachtestung wurde keine $\alpha$- Korrektur vorgenommen, um sich eine möglichst gute Testpower zu erhalten.

Richtung an.

## 8.4 Analyse I - Überprüfung der experimentellen Manipulationen

Anzeichen für eine gelungene Manipulation sollten sich unter normalen Sichtbedingungen hier in schlechterer Leistung bei weit fokussierter Aufmerksamkeit und heterogenen Distraktoren (geringem *Stimuluskontrast*) zeigen (Effekt des *Fokuscue*). Die Simulation des opaken Skotoms galt dann als erfolgreich, wenn die inneren Zielreize nur auf Zufallsniveau erkannt wurden (hier abgebildet über eine Umkehrung des *Fokuscue*-Effekts).

### 8.4.1 Design

Zur Prüfung, ob die experimentellen Manipulationen erfolgreich waren, wurde ein reduziertes 3-faktorielles Versuchsdesign der Faktoren *Gruppe* und *Fokuscue* sowie *Stimuluskontrast* betrachtet. Über den Faktor *Targetposition* wurde aggregiert. Das reduzierte Design ist durch eine hellgraue Markierung in Tabelle 8.1 (S. 146) markiert.

### 8.4.2 Abhängige Variablen

Für jede Versuchsperson wurden zwei Differenzvariablen gebildet. Die Differenzvariablen ergaben sich jeweils durch die Differenz des Anteils der korrekten Antworten zwischen den beiden Stufen des Faktors *Fokuscue* (*FCUE 1* - *FCUE 2*) einerseits und den *Stimuluskontraststufen* (*S 1* - *S 2*) anderseits. Positive Werte sprechen also für mehr korrekte Antworten in *FCUE 1* als in *FCUE 2* bzw. einen größeren Anteil korrekter Antworten in *S 1* als in *S 2*.

### 8.4.3 Hypothesen

Die Hypothesen sind in Form von Erwartungswertdiagrammen des Anteils korrekter Antworten in Abhängigkeit der Faktoren *Fokuscue* und *Stimuluskontrast* in Abbildung 8.4 (S. 150, obere Reihe) dargestellt.

**Haupteffekt des *Fokuscue*:**

Für die *NVL* und die *CVB* Gruppe wurde über die *Stimuluskontraststufen* gemittelt ein *größerer* Anteil richtiger Antworten in der Stufe *FCUE 1* als in der Stufe *FCUE 2* erwartet: $H_{FCUE} : \mu_{DgF} > 0$, für g = 1,2 (*NVL*, *CVB*).

Für die *CVL* Gruppe wurde hingegen ein *kleinerer* Anteil richtiger Antworten über die *Stimuluskontraststufen* gemittelt in der Stufe *FCUE 1* als in der Stufe *FCUE 2* erwartet: $H_{FCUE} : \mu_{DgF} < 0$, für g = 3 (*CVL*).

**Haupteffekt des *Stimuluskontrastes*:**

In allen Gruppen wurde erwartet, dass in der Stufe *S 1* im Vergleich zur Stufe *S 2* *mehr* korrekte Antworten gemittelt über die Stufen des Faktors *Fokuscue* gegeben werden: $H_S : \mu_{DgS} > 0$, für die Gruppen g = 1,2,3.

Über die Interaktion wurden keine Hypothesen aufgestellt.

### 8.4.4 Analysemethoden

Zur Prüfung, ob die experimentellen Manipulationen erfolgreich waren, wurden zwei gerichtete t-Tests der entsprechenden Differenzvariablen innerhalb jeder Gruppe getestet. Die geschätzten Effektstärken wurden als *Cohens* $\hat{d}$ angegeben (genaue Berechnung siehe Wollschläger, 2010, S. 215), welches die Differenz der Mittelwertsdifferenzen in Einheiten der Standardabweichung der Differenzvariable angibt.

### 8.4.5 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abbildung 8.4 (S. 150, untere Reihe) in Form eines Mittelwertsdiagramms der abhängigen Variablen in Abhängigkeit der Faktoren *Fokuscue* und *Stimuluskontrast* für jede Gruppe abgetragen.

#### NVL

Die Haupteffekte der Faktoren *Fokuscue* und *Stimuluskontrast* konnten wie erwartet bestätigt werden. Die Probanden der *NVL* Gruppe zeigten einen größeren Anteil richtiger Antworten in *FCUE 1* als in *FCUE 2* ($t_7 = 6.06, p < .01, \hat{d} = 2.14$) sowie in *S 1* im Vergleich zu *S 2* ($t_7 = 2.35, p = .03, \hat{d} = 0.83$).

### CVB

Ähnlich bestätigten sich die Haupteffekte für die *CVB* Gruppe. Bei Probanden der *CVB* Gruppe war ein größerer Anteil richtiger Antworten in *FCUE 1* als in *FCUE 2* ($t_7 = 7.55, p < .01, \hat{d} = 2.67$) sowie in *S 1* im Vergleich zu *S 2* ($t_7 = 5.52, p < .01, \hat{d} = 1.95$) zu beobachten.

### CVL

Im Gegensatz zu den anderen beiden Gruppen und in Übereinstimmung mit den Erwartungen zeigten die Probanden der *CVL* Gruppe einen geringeren Anteil richtiger Antworten in *FCUE 1* als in *FCUE 2* ($t_7 = -11.12, p < .01, \hat{d} = -3.93$). Der erwartete Effekt des *Stimuluskontrastes* wurde nur im Trend signifikant ($t_7 = 1.55, p = .08, \hat{d} = .55$).

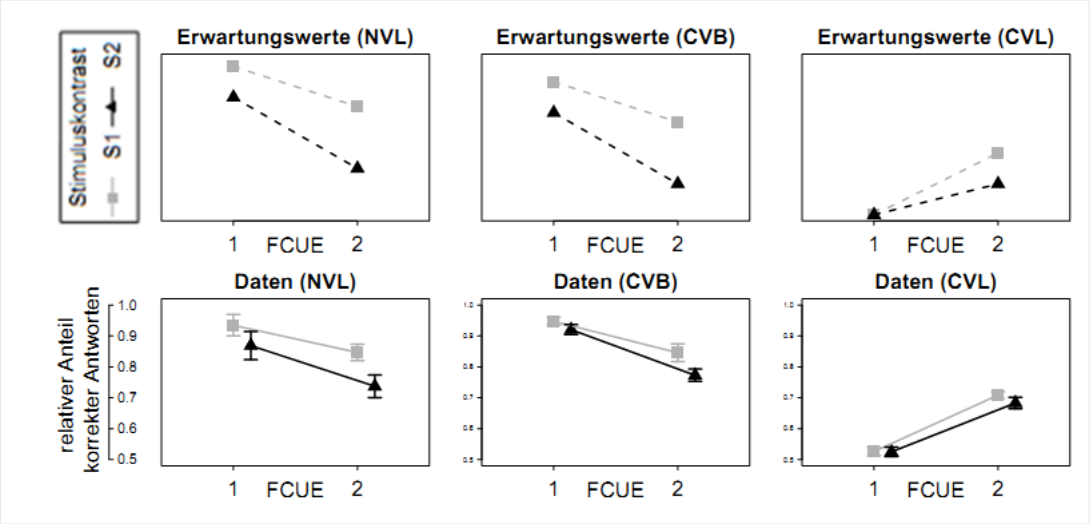



**Abbildung 8.4.:** Diese Grafik veranschaulicht die Wirkung der Faktoren *Fokuscue* und *Stimuluskontrast*. In der oberen Reihe sind die Erwartungswertdiagramme (gestrichelte Linien) für jede *Gruppe* dargestellt (links: kein Skotom; mittig: semi-opakes Skotom; rechts: opakes Skotom). In der unteren Reihe sind die Ergebnisse (durchgezogene Linien) abgebildet. *S 1* steht für einen hohen *Stimuluskontrast* (graue Vierecke) und *S 2* symbolisiert einen geringen *Stimuluskontrast* (schwarze Dreiecke).

### 8.4.6 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Zunächst konnten die basalen Befunde von Müller-Plath und Elsner (2007) bestätigt werden. Die Probanden, welche das Experiment ohne Einschränkungen (*NVL*) durchführten, waren besser, wenn das Target nur in einem kleinem, zentralen Bereich erscheinen konnte (*FCUE 1*). Außerdem konnten sie die Aufgabe besser lösen, wenn die Distraktoren untereinander ähnlich waren (*S 1*).
Die Akkommodation an die Faktoren *Fokuscue* und *Stimuluskontrast* erfolgte bei den Probanden mit einem semi-opaken Skotom (*CVB*) ähnlich wie bei den Probanden der *NVL* Gruppe.
Im Gegensatz dazu zeigte das opake Skotom seine erwartete Wirkung. Die Probanden in der *CVL* Gruppe entdecken das Target nur auf Zufallsniveau, wenn es in dem Bereich (zentral) hinter dem Skotom gelegen hat (*FCUE 1*). Die Erkennungsleistung stieg, wenn das Zielitem auch in den Bereichen peripher vom Skotom erscheinen konnte (*FCUE 2*). Mit anderen Worten kehrte sich der Cueing-Effekt im Vergleich zu der *NVL* Gruppe wie erwartet um. Wenngleich die Verringerung des *Stimuluskontrastes* deskriptiv ebenso zu geringeren Erkennungsleistungen in dieser Gruppe führte, wurde dieser Effekt nicht signifikant. Dieser von der Erwartung abweichende Befund wird nach der nächsten Analyse ausführlicher diskutiert. Aus diesen Ergebnissen kann zunächst das Fazit gezogen werden, dass die experimentellen Manipulationen erfolgreich waren und zu Ergebnissen geführt haben, die sich mit früheren Studien vergleichen lassen.

## 8.5 Analyse II: Interaktion Gruppe und Stimuluskontrast bei *FCUE 2* und *TPOS 2*

### 8.5.1 Hintergrund

Nachdem durch die Analyse I festgestellt werden konnte, dass die experimentellen Manipulationen wie erwünscht gewirkt haben, wurde sich der Frage zu gewandt, inwieweit die Ergebnisse aus Experiment 1 durch die *Gradientenhypothese* oder durch eine *okulomotorische Irritation* erklärbar sind. Um diese Frage zu beantworten, wurde die Größe des Aufmerksamkeitsfokus nicht wie in Experiment 1 aus den Sakkadenamplituden abgeleitet, sondern direkt manipuliert, indem die Größe des Bereichs, in dem ein Target erscheinen konnte, experimentell vorgegeben wurde (Faktor *Focuscue*). Interessant für diese Analyse ist die Bedingungskombination, bei welcher der Zielreiz im kompletten Reizdisplay erscheinen konnte (Faktorbedingung *FCUE 2*) und der *Stimuluskontrast* gering war (Faktorbedingung *S 2*). Für Probanden der *NVL* Gruppe erscheint diese Bedingungskombina-

tion nicht trivial. Einerseits sollten sie die Größe ihres Aufmerksamkeitsfokus weit stellen, um entsprechend der Instruktion auch periphere Zielreize zu entdecken (Faktorbedingung *TPOS 2*). Anderseits sollte ein sinkender *Stimuluskontrast* zu einer Verkleinerung der Fokusgröße führen. Bei Probanden der *CVB* Gruppe sollte dieser Konflikt noch größer sein, da die Salienz des Zielreizes durch das semi-opake Skotom noch geringer sein dürfte (vgl. Abschnitt 7.2.2, S. 100). Wenn die Vorhersagen der *Gradientenhypothese* tatsächlich zutreffen und die Ergebnisse des Experiments 1 nicht auf eine *okulomotorische Irritation* zurückzuführen sind, sollten die *CVL* Gruppe besser als die anderen beiden Gruppen mit jener Bedingungskombination zurecht kommen. Durch das opake Skotom sollte die Größe des Aufmerksamkeitsfokus konstant groß eingestellt werden, um insbesondere retinal periphere Bereiche für eine Zielreizentdeckung zu nutzen. Dies sollte entsprechend den Vorhersagen aus Experiment 1 auch bei einem sinkenden *Stimuluskontrast* der Fall sein. Zusammengefasst sollten sich die Hauptunterschiede zwischen den Gruppen in einer Situation zeigen, in welcher der Aufmerksamkeitsfokus groß gestellt werden soll und der Zielreiz entsprechend peripher präsentiert wird sowie der *Stimuluskontrast* sinkt. Das entspricht hier der Bedingungskombination, in der Zielreize in beiden Kreisen (*FCUE 2*) und tatsächlich auf dem äußeren Kreis (*TPOS 2*) erschienen. Betrachtet wurden diese Bedingungskombination in beiden Stufen des *Stimuluskontrastes* (*S 1* und *S 2*).

### 8.5.2 Design

Für diese Analyse wurde ein bedingtes 3 (*Gruppe*) $\times$ 2 (*Stimuluskontrast*) Design unter der Bedingung *FCUE 2* und *TPOS 2* betrachtet. Das bedingte Design ist dunkelgrau in Tabelle 8.1 (S. 146) markiert.

### 8.5.3 Abhängige Variable

Für jede Versuchsperson wurden, ähnlich wie in Analyse I, eine Differenzvariable gebildet. Diese ergab sich durch die Differenz des Anteils der korrekten Antworten zwischen den beiden Stufen des Faktors *Stimuluskontrast* (*S 1* - *S 2*). Positive Werte sprechen also für mehr korrekte Antworten der Probanden in *S 1* als in *S 2*.

### 8.5.4 Hypothesen

Unter der Annahme veränderter Aufmerksamkeitsprozesse bei der Anwesenheit von opaken Zentralskotomen (vgl. Abschnitt 7.2.2, S. 100) werden hier die folgenden Hypothesen formuliert. Alle Hypothesen sind ausschließlich für die Differenzvariable zwischen den *Stimuluskontraststufen* (*S 1 - S 2*) formuliert. Grafisch sind die Hypothesen in Abbildung 8.5 (S. 155, linkes Fenster) illustriert.

An *TPOS 2* ...

(i) *NVL* versus *CVB*:
... werden keine Unterschiede bezüglich der Differenzvariable zwischen der *NVL* Gruppe und der *CVB* Gruppe erwartet.
$H_i : \mu_{D1F2} = \mu_{D2F2}$

(ii) *NVL* versus *CVL*:
... wird eine größere Differenzvariable für die Probanden der NVL Gruppe als für Probanden der *CVL* Gruppe erwartet.
$H_{ii} : \mu_{D1F2} > \mu_{D3F2}$

### 8.5.5 Analyse

Zur Prüfung, ob die *Gruppen* unterschiedliche Erkennungsleistungen bei sinkendem *Stimuluskontrast* der Targets zeigen, welche in einem großen Bereich angekündigt wurden (*FCUE 2*) und peripher präsentiert wurden (*TPOS 2*), wurden der Interaktionseffekt der Faktoren *Gruppe* und *Stimuluskontrast* in dem bedingten Design getestet. Dies ist gleich einem Dreigruppenvergleich der Differenzvariablen. Anstelle einer einfaktoriellen ANOVA wurden hier zwei geplante Kontraste der Kontrollgruppe gegen die Skotomgruppen gerechnet (*NVL* versus *CVB* und *NVL* versus *CVL*). Die geschätzten Effektstärken wurden als *Cohens* $\hat{d}$ angegeben (genaue Berechnung siehe Wollschläger, 2010, S. 215), welches als Differenz der Differenzmittelwerte der jeweils betrachteten Gruppen in Einheiten der *gepoolten* Standardabweichung gebildet wurde.

### 8.5.6 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abbildung 8.5 (S. 155, rechtes Fenster) abgetragen.

#### NVL vs. CVB

Entgegen der Erwartung zeigten die Probanden der *NVL* Gruppe einen größeren Unterschied zwischen den Stufen des *Stimuluskontrastes* an *TPOS 2* als die Probanden der *CVB* Gruppe ($t_{14} = 2.05, p = .06$, $\hat{d} = 1.02$).[5] Deskriptiv ergaben die Werte der Differenzvariable (*S 1 - S 2*) für die Probanden der *CVB* Gruppe: $M_{D1} = .12$, $SD_{D1} = .10$ und für die *CVB* Gruppe: $M_{D2} = .03$, $SD_{D2} = .06$.

#### NVL vs. CVL

Wie erwartet zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Probanden der *NVL* und der *CVL* Gruppen ($t_{14} = 3.07, p < .01$, $\hat{d} = 1.53$).[6] Deskriptiv bestätigte sich die erwartete Richtung des Unterschieds ($M_{D1} = .12$, $SD_{D1} = .10$; $M_{D3} < -.01$, $SD_{D3} = .05$).

### 8.5.7 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Die Ergebnisse bestätigten die Annahme, dass die Erkennungsleistung der Probanden der *NVL* Gruppe für exzentrische Targetpositionen (*TPOS 2*) im Vergleich zu den Probanden der *CVL* Gruppe abnimmt, wenn der *Stimuluskontrast* sinkt. Wie in den Analysen zuvor auch schon festgestellt, überraschte die *CVB* Gruppe, welche ähnlich wie die *CVL* Gruppe einen geringeren Effekt des *Stimuluskontrastes* an *TPOS 2* zeigte als die Probanden der *NVL* Gruppe.

[5] Diese Hypothese wurde auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .2$ getestet.
[6] Diese Hypothese wurde auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ getestet.

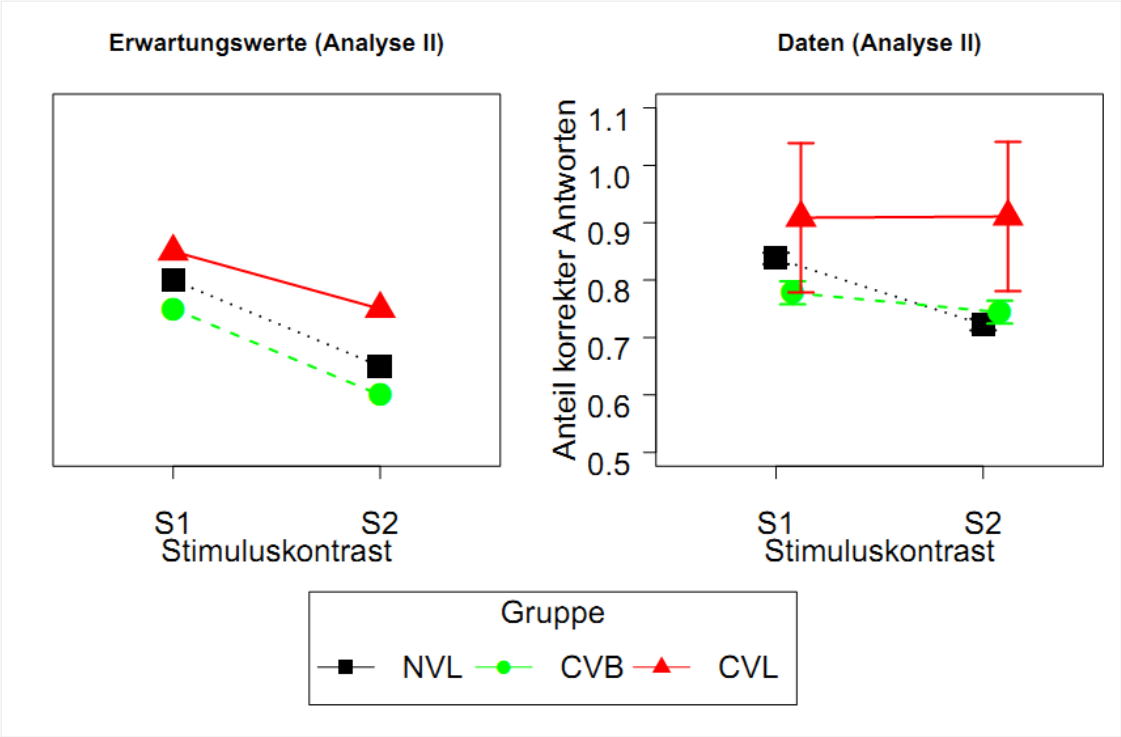



**Abbildung 8.5.:** Hier ist die Wirkung des Faktors *Stimuluskontrast* an *TPOS 2* (*FCUE 2*) für jede *Gruppe* (blau: kein Skotom; grün: semi-opakes Skotom; rot: opakes Skotom) abgetragen. Links sind die erwarteten Verläufe und rechts die tatsächlichen Ergebnisse abgebildet.
Unterstützt werden die Darstellungen durch die 95% (*wihtin*) Konfidenzintervalle. Sie spiegeln die Variabilität innerhalb der Gruppen wider. Aussagen über die interferenzstatistische Unterschiedlichkeit zwischen den Gruppen können nicht abgelesen werden.

## 8.6 Diskussion

### 8.6.1 Hintergrund

Basierend auf den Ergebnissen des Experiments 1, in dem Probanden mit einem simulierten opaken Skotom gleichbleibend *große* Sakkadenamplituden in allen Manipulationen des *Stimuluskontrastes* zeigten, wurde in Experiment 2 weiterführend untersucht, ob die Veränderungen auf Anpassung von Aufmerksamkeitsprozessen oder eine *okulomotorische Irritation* zurückzuführen sind. Dabei gab es vier konzeptionelle Kernunterschiede zwischen den beiden Experimenten. (i) In Experiment 2 wurden keine Augenbewegungen zugelassen (verdeckte visuelle Suche; vgl. Abschnitt 5.1, S. 58). Um dies zu realisieren wurde ein sogenanntes *single fixation paradigm* (*SFP*, Müller-Plath & Elsner, 2007) durchgeführt,

wobei die maximal mögliche Darbietungszeit der Reize 180 ms betrug. (ii) In Experiment 2 wurde der Vorgang der Einstellung des Aufmerksamkeitsfokus experimentell manipuliert. In der *FCUE 1*-Bedingung konnte ein Target nur in einem Bereich von 3° erscheinen. Die Probanden sollten dazu gebracht werden, ihre Aufmerksamkeit *eng* zu fokussieren. In der *FCUE 2*-Bedingung konnte ein Zielitem überall auf dem Itemdisplay (bis 8°) erscheinen. Die Probanden sollten dazu gebracht werden, ihre Aufmerksamkeit *weit* zu fokussieren. (iii) Die Stimuluskontraststufen wurden durch die Ähnlichkeit zwischen den Distraktoren variiert. (iv) Äquivalent zu Experiment 1 wurden drei Ausprägungen eines Zentralskotoms simuliert - kein Skotom (*NVL*), ein semi-opakes Skotom (*CVB*) sowie ein opakes Skotom (*CVL*). Hier wurde allerdings die Größe der simulierten Skotome in allen Gruppen konstant gehalten und nur die Opazität variiert.
Der experimentelle Ablauf basierte auf der Arbeit Müller-Plath und Elsner (2007). Da in diesem Experiment einige Dinge verändert wurden, wurde als erstes geprüft, ob die Ergebnisse von Müller-Plath und Elsner repliziert werden konnten. Dafür wurde der Anteil richtiger Antworten zwischen den Bedingungen des Faktors *Fokuscue* und des Faktors *Stimuluskontrast* getestet (Analyse I). In einem zweiten Analyseschritt wurde geprüft, ob die *Gruppen* unterschiedliche Erkennungsleistungen an exzentrischen *Targetpositionen* zeigten und wie sich dort eine Verringerung des *Stimuluskontrast* auswirkte. Genauer gesagt wurde die Erkennungsleistung in der Bedingung untersucht, in der ein Target in einem weiteren Bereich erscheinen konnte (*FCUE 2*), tatsächlich aber nur peripher aufgetaucht war (*TPOS 2*). Es wurde zwischen den *Skotomgruppen* in den verschiedenen Stufen des *Stimuluskontrastes* verglichen (Analyse II).

### 8.6.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Manipulation des *Fokuscue*, des *Stimuluskontrastes* sowie des zSV (*Gruppe*) waren erfolgreich und bestätigten die basalen Ergebnisse von Müller-Plath und Elsner (2007).
Weiterhin zeigte sich, dass Probanden mit einem opaken Skotom (*CVL*) auch mit sinkendem *Stimuluskontrast* für Targets an exzentrischen Reizpositionen (TPOS 2) eine bessere Erkennungsleistung aufwiesen als Probanden, welche die Aufgabe ohne Skotom (*NVL*) lösten. Gerade in dieser Bedingung sollte die Größe des Aufmerksamkeitsfokus *weit* eingestellt werden (*FCUE 2*). Diese Verbesserung der Erkennungsleistung spricht für die Annahme, dass ein opakes Skotom zu dem Versuch führt, alle potenziellen retinal peripheren Bereiche zu nutzen, um einen Zielreiz zu finden. Das kann meiner Meinung nach durch zwei Prozesse erreicht werden. Entweder versucht man, das Skotom beiseite zu schieben (*okulomotorische Irritation*) oder es gelingt, die Größe des Aufmerksamkeitfokus so weit wie notwendig (möglich) einzustellen. In diesem Experiment wurden Augenbewegungen zur Zielreizfindung durch entsprechend kurze Darbietungszeiten ausgeschlossen, wodurch

eine reine *okulomotorische Irritation* als Erklärung unwahrscheinlich ist. Die Ergebnisse des Experiments 2 sprechen vielmehr für die Annahme, dass ein opakes Skotom dazu führt, die Größe des Aufmerksamkeitsfokus adaptiv auf *weit* einzustellen (*Gradientenhypothese*, Kapitel 7). Die Ergebnisse bezüglich des Faktors *Stimuluskontrast* unterstreichen dies. Zunächst konnte festgestellt werden, dass die Manipulation des *Stimuluskontrastes* hier zu ähnlichen Ergebnissen führte wie die Variation in Experiment 1. Mit sinkendem *Stimuluskontrast* sank der Anteil korrekter Antworten in allen Gruppen (in der *CVL* Gruppe deskriptiv). Für die Probanden der *CVL* Gruppe war dieser Effekt allerdings geringer, wenn das Target weiter exzentrisch (*TPOS 2*) erschien als für die Kontrollprobanden (*NVL*). Dieses Ergebnis unterstützt in meinen Augen die Annahme, dass ein opakes Skotom eine stärkere Aufmerksamkeitsverteilung in exzentrische Gebiete bewirkt.
Im Gegensatz zu Experiment 1 zeigte die *CVB* Gruppe keine eindeutigen Ergebnisse. Während sie ähnlich wie die *NVL* Gruppe erfolgreicher ein Target fanden, wenn es nur in zentralen Bereichen erscheinen konnte (*FCUE 1*), wiesen sie ähnlich zu der *CVL* Gruppe eine höhere Erkennungsleistung für Targets an *TPOS 2* auf, wenn alle Bereiche (*FCUE 2*) beachtet werden sollten. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass diese Probanden trotz des semi-opaken Skotoms noch dazu in der Lage waren, den Fokuscue zu nutzen und ihre Aufmerksamkeit *enger* zu fokussieren. Dies erscheint sinnvoll, da ihnen Informationen aus retinal zentralen Bereichen, wenn auch getrübt, vorlagen. Wenn sie ihren Aufmerksamkeitsfokus allerdings *weiter* einstellen sollten, schienen sie auch schon verstärkt retinal periphere Bereiche für eine Zielreizentdeckung zu nutzen.

### 8.6.3 Aufmerksamkeitsverteilung

Die verbesserten Erkennungsleistungen für weiter exzentrisch dargebotene Reize beim Vorliegen eines opaken zSV könnte auch auf eine Verschiebung der Fixation in retinal exzentrische Areale (PRLs) zurückzuführen sein. Mit anderen Worten könnte die Aufmerksamkeit nicht per se *weiter* adjustiert worden sein, sondern an einer peripheren Stelle besser (*Fixationsorthypothese*). Die bisher vorgestellten Ergebnisse des Experiments 2 können diese alternative Erklärung nicht ausschließen, wenngleich eine so rasche PRL-Ausbildung ungewöhnlich wäre (Hogg & Chakravarthy, 2006). Um diese mögliche Alternativerklärung auszuschließen, wurde die Verteilung der korrekten Antworten in vier Quadranten veranschaulicht (Abbildung 8.6, S. 159). Die Konzentration auf eine retinale Position würde zu einer Häufung von korrekten Antworten in einem Quadranten führen, während eine weite Verteilung von Aufmerksamkeit eine Gleichverteilung in allen Quadranten bedingen sollte. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Probanden der *CVL* Gruppe häufig richtige Antworten in den exzentrischen Anteilen aller Quadranten gaben. Dies traf auch für die *CVB* Gruppe zu, wenngleich diese weniger richtige Antworten im exzentrischen Teil des

linken, oberen Quadranten zeigten. Auch die Probanden der *NVL* Gruppe verteilten ihre Aufmerksamkeit relativ gleichmäßig über die äußeren Abschnitte aller Quadranten, mit der Ausnahme des linken oberen Feldes. Wie erwartet kann man ebenso deutlich ablesen, dass die *CVB* Gruppe schlechter dazu in der Lage ist, Aufmerksamkeit in die exzentrischen Teile der Quadranten zu verlagern als die Probanden der *NVL* Gruppe. Für die Probanden der *CVL* Gruppe kehrte sich das Muster erwartungskonform um. Die gute Aufmerksamkeitsverteilung der *NVL* Gruppe in die exzentrischen Teile der Quadranten könnte in der Vorphase begründet sein. In dieser wurde genau jene Bedingugskombination geübt, welche hier abgetragen wurde (*FCUE 2* und *TPOS 2*). Die Bedingungskombination *FCUE 2* und *TPOS 1* wurde hingegen nicht geübt. Das könnte der Grund für die relativ schlechten Leistungen in den zentralen Teilen der Quadranten in der unteren Reihe der Abbildung sein. Diese kleine Zusatzanalyse gibt einen Hinweis darauf, dass ein simulierter zSV tatsächlich zu einer adaptiven Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus führt (*Gradientenhypothese*, Kapitel 7). Sie scheint demnach ein vom Fixationsverhalten unabhängiger kognitiver Mechanismus zu sein.
Unter der Annahme, dass die Ergebnisse tatsächlich durch unterschiedliche Fokussierungen von Aufmerksamkeit in den *Gruppen* zurückzuführen sind, kann geschlussfolgert werden, dass sich Salienz als psychologisches Konstrukt durch die Zuwendung von Aufmerksamkeit verändert. Dies entspricht den Anschauungen salienzbasierter Modelle.

## 8.7 Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung

Wenn Beobachter einem kurzfristigen zSV in einem verdeckten visuellen Suchexperiment ausgesetzt sind, weisen sie auch bei einem sinkenden *Stimuluskontrast* bessere Erkennungsleistung für Reize auf, welche weiter exzentrisch dargeboten wurden. Dies könnte auf den Versuch hindeuten, intakte periphere Bereiche zu aktivieren und deutet weiter auf einen Aufmerksamkeitsfokus hin, der größer als das zentrale Skotom ist (*Gradientenhypothese*). Diese Mechanismen setzten schon beim Vorliegen eines simulierten semi-opaken Skotoms ein. Eine reine *okulomotorische Irritation* als Erklärung für veränderte Sakkadenmuster in Experiment 1 konnten ausgeschlossen werden. Ungeklärt bleibt hier weiterhin die Übertragbarkeit auf Langzeiteffekte eines zSV (Kapitel 10) und die damit verbundenen Implikationen für die Praxis (z.B. Patiententrainings).

**Abkürzungen**

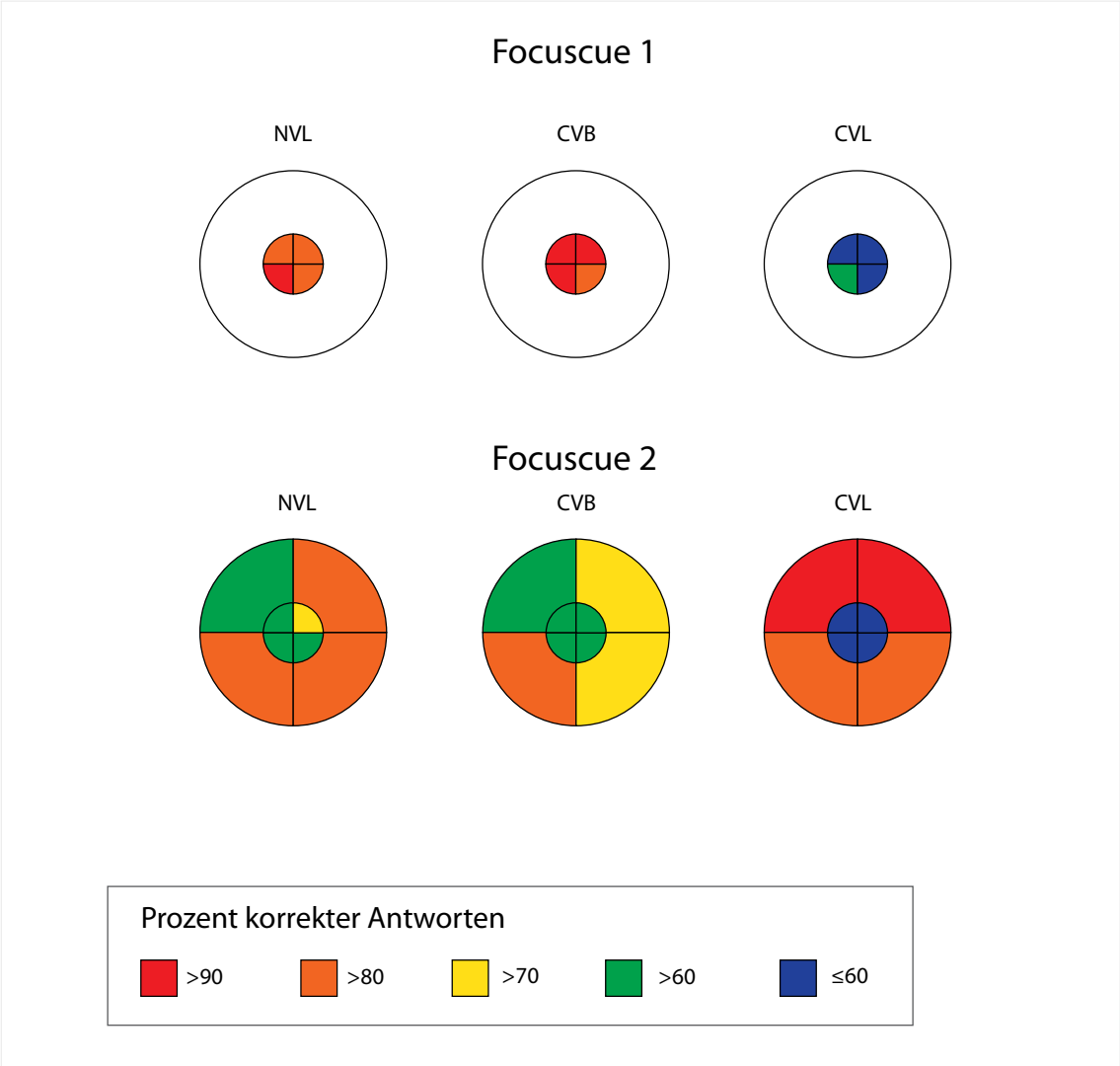



**Abbildung 8.6.:** Diese Grafik veranschaulicht die angenommene Verteilung der Aufmerksamkeit (Prozent korrekter Antworten) in Abhängigkeit von vier Quadranten (oben links, oben rechts, unten links, unten rechts) für jede Gruppe (links: *NVL*; mittig: *CVB*; rechts: *CVL*). Oben sind die Leistungen in der Bedingung *FCUE 1* (innerer Kreis: *TPOS 1*) veranschaulicht. Unten sieht man die Leistungen unter Bedingung *FCUE 2* (innerer Kreis: *TPOS 1*; äußerer Kreis: *TPOS 2*).

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

CVB: semi-opakes Skotom; central vision blur

CVL: opakes Skotom; central vision loss

FCUE 1: Fokuscue eins

FCUE 2: Fokuscue zwei

NVL: kein Skotom; no central vision loss

PRL: *preferred retinal locus*

S 1: Stimuluskontraststufe eins

S 2: Stimuluskontraststufe zwei

SFP: *single fixation paradigm*

TPOS 1: Targetposition eins

TPOS 2: Targetposition zwei

zSV: zentraler Sehverlust

# 9
# Experiment 3

**Zusammenfassung**

**Hintergrund** In Experiment 1 wurde der zentrale Sehverlust (zSV) als Forschungsmethode verwendet, um das Zentrum der Aufmerksamkeit und den Bereich des schärfsten Sehens zu entkoppeln. Es zeigten sich adaptierte Größeneinstellungen des Aufmerksamkeitsfokus in Abhängigkeit von der Opazität der simulierten Skotome. In Experiment 3 wurde die Fragestellung zentriert, wie groß Patienten mit natürlichen Zentralskotomen (AMD Patienten) in verschiedenen Stadien der Erkrankung den Aufmerksamkeitsfokus einstellen. Der zSV war hier demnach Forschungsgegenstand.

**Methode** Ursprünglich sollten Patienten mit natürlich entstandenen Zentralskotomen in zwei Skotomgruppen (semi-opak versus opak) geteilt werden und damit eine Äquivalenz zu Experiment 1 geschaffen werden. Insgesamt wurden zwölf AMD Patienten untersucht. Nur fünf von ihnen waren aufgrund der ophthalmologischen Charakteristika ähnlich zu den simulierten Skotomgruppen aus Experiment 1 (drei waren ähnlich zu der *CVB* Gruppe und zwei ähnlich zu der *CVL* Gruppe). Neun ältere, hinsichtlich der Augen gesunde Kontrollprobanden (*AMD0*) wurden mit den Kontrollprobanden (*NVL* Gruppe) des ersten Experiments verglichen. Ähnlich zu Experiment 1 wurde eine offene Merkmalssuche mit zwei Abstufungen des *Stimuluskontrastes* und der *Objektanzahl* durchgeführt. Untersucht wurden die Auswirkungen dieser Faktoren auf die *Effizienz* (Reaktionszeitanstiege), die *Fokusgröße* (Sakkadenamplituden) sowie die *Systematik* (Mehrfachfixierungen) der Suche. Mit Hilfe der Kontrollgruppe wurde zunächst der Effekt des Alters analysiert. Aufgrund der nicht vergleichbaren Patientenstichprobe wurden keine Skotomgruppen gebildet. Stattdessen erfolgte die Auswertung der Patientendaten auf individueller Ebene. Darüber hinaus wurde geprüft, zu welcher Skotomgruppe des ersten Experiments die Patienten aufgrund ihrer *Fokusgröße* klassifiziert wurden.

**Ergebnisse** Die Probanden der *AMD0* Gruppe zeigten das typische Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast*. Zugleich zeigten sich die erwarteten Effekte des Alters. Die älteren Kontrollprobanden suchten *ineffizienter* (deskriptiv)

mit kleineren *Fokusgrößen* und *unsystematischer* als die jüngere Kontrollgruppe aus Experiment 1. Die zwei Patienten, welche ein opakes binokulares Skotom aufwiesen, zeigten ähnliche Akkommodationsmuster wie die *CVL* Gruppe mit simulierten opaken Zentralskotomen aus Experiment 1. Darüber hinaus wurden sie aufgrund der großen *Fokusgrößen* zu dieser Gruppe klassifiziert. Die drei Patienten, welche ein semi-opakes binokulares Skotom aufwiesen, zeigten mit sinkendem *Stimuluskontrast* eine *ineffizientere* sowie *unsystematischere* Suche. Auch wenn das Absinken der *Fokusgröße* nicht beobachtet werden konnte, wurden sie anhand der kleinen *Fokusgrößen* zu der *CVB* Gruppe des ersten Experiments zugeordnet. Alle anderen Patienten suchten ebenso *ineffizienter* und *unsystematischer*, wenn der *Stimuluskontrast* sank. Nur bei einem Patienten konnte ein signifikanter Anstieg der *Fokusgröße* nachgewiesen werden. Dieser wurde aufgrund der großen *Fokusgröße* zu der *CVL* Gruppe klassifiziert. Für die anderen Patienten konnten keine Veränderung der *Fokusgröße* mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* beobachtet werden. Sie wurden aufgrund der kleinen *Fokusgrößen* zu der *CVB* Gruppe klassifiziert.

**Diskussion** Die großen *Fokusgrößen* bei Patienten mit binokuluaren opaken Skotomen indizieren eine *Weitstellung* des Aufmerksamkeitsfokus bei zSV. Aufgrund der ophthalmologisch polymorphen Patientenstichprobe sowie weiterer Schwierigkeiten (z.B. bei der Blickbewegungsmessung) können die Annahmen der *Gradientenhypothese* für einen natürlich entstandenen zSV dennoch nicht als bestätigt angenommen werden.

**Ausblick** Die bisherigen Patientenergebnisse sind aufgrund ihrer polymorphen ophthalmologischen Charakteristika nicht eindeutig zu interpretieren. In dem nachfolgenden Experiment werden Patienten untersucht, die sich unter ophthalmologischen Gesichtspunkten ähnlicher sind. Des Weiteren werden Aufmerksamkeitsleistungen ohne die Messung von Augenbewegungen untersucht.

**Schlüsselwörter**

ältere Probanden, AMD, visuelle Suche, Aufmerksamkeitsfokus, Gradientenhypothese

## 9.1 Hintergrund

Salienzbasierte Modelle (vgl. z.B. Kapitel 7) können als Grundlage für die Vorhersagen von visuellen Suchmustern dienen. In Experiment 1 wurden Vorhersagen solcher Salienzmodelle auf den Fall eines simulierten zentralen Sehverlustes erweitert sowie die retinale Mechanismen (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*) eines dabei beschriebenen attentionalen Prozesses (Aufmerksamkeitsfokus) untersucht. Die Resultate sprachen für die *Gradientenhypothese*. Auch bei einem sinkender *Stimuluskontrast* blieben die Sakkadenamplituden (Korrelat der Fokusgröße) bei den Probanden mit einem opaken Skotom (*CVL* Gruppe) konstant groß. Daraus wurde geschlussfolgert, dass Probanden mit einem zentralem opaken Skotom (simuliert) versuchen, alle potenziellen intakten, retinal peripheren Areale zur Targetidentifikation zu nutzen. In Experiment 3 sollte die Frage untersucht werden, inwiefern sich die Ergebnisse der Simulationsstudie auf natürlich entstandene zentrale Skotome übertragen lassen, also auf eine längerfristige und im Alltag immanente foveale Seheinschränkung. Dafür wurden Patienten mit einer altersbedingten Makuladegeneration (AMD; vgl. Kapitel 2) untersucht und mit alters-korrelierten Probanden - Normalsichtige ab 50 Jahre - verglichen.

## 9.2 Probleme und Lösungsvorschläge bei der Synchronisation mit Experiment 1

Bei einem Übertrag der Ergebnisse junger, hinsichtlich der Augen gesunder Probanden mit simulierten Skotomen auf AMD Patienten können die folgenden generellen Probleme auftreten:

(i) Das Blickverhalten von AMD Patienten ist nicht stabil (Kapitel 3). Eine Kalibrierung der Augenbewegungen mit dem Augenmessgerät ist aufwendig und schwierig. Die Güte der Blickbewegungsmessung bei AMD Patienten ist demzufolge als geringer einzuschätzen als bei jüngeren Probanden.

(ii) AMD Patienten leben in der Regel unterschiedlich lang mit ihrer Erkrankung zum Zeitpunkt der Untersuchung. Außerdem haben sie häufig unterschiedliche Anforderungen im Alltag zu bestehen. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Patienten unterschiedliche Strategien angewöhnt haben, welche unterschiedliche Auswirkungen auf ihr Blickverhalten haben könnten.

(iii) Die Patienten sind in der Regel älter (ab 50 Jahre) als die Probanden, welche beispielsweise in Experiment 1 untersucht wurden. Ältere Beobachter weisen quantita-

tiv kleinere Sakkadenamplituden auf als jüngere (vgl. Abschnitt 3.2.3, S. 36). Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der Größe des Aufmerksamkeitsfokus zu beachten, da die Sakkadenamplitude in der vorliegenden Arbeit als Korrelat der Fokusgröße herangezogen wurde.

(ad i) Das erste Problem kann durch einen Ausschluss von Augenbewegungen zur Untersuchung attentionaler Prozesse gelöst werden (vgl. Kapitel 10). Insofern man allerdings Augenbewegungen messen möchte, sollte insbesondere die Interpretation von Augenbewegungsparametern (z.B. Sakkadenamplituden) und die Schlussfolgerung auf kognitive Prozesse (z.B. Größe des Aufmerksamkeitsfokus) vorsichtig ausfallen.

(ad ii) Patienten könnten idealerweise so ausgewählt werden, dass die Länge der Erkrankung sowie die Anforderungen im Alltag vergleichbar wären. Unter Gesichtspunkten der ökologischen Validität sowie der Ökonomie bei der Probandenrekrutierung erscheint dies allerdings unrealistisch.

(ad iii) Der Einfluss des Alters kann durch eine alters-korrelierte Vergleichsstichprobe kontrolliert werden. In dem vorliegenden Fall sind das normalsichtige Probanden ab 50 Jahren.
Neben diesen allgemeinen Problemen, gibt es weitere spezifische Schwierigkeiten (iv und v), welche durch die Forschungslogik der vorliegenden Arbeit determiniert wurden und welche die Zusammensetzung der Patientenstichprobe hinsichtlich des zSV betreffen.

### 9.2.1 Geplante Zusammensetzung der Patientenstichprobe

Um zu untersuchen, ob sich die Ergebnisse des ersten Experiments auf AMD Patienten übertragen lassen, ist eine Äquivalenz zu den simulierten Skotomen wünschenswert. Genauer gesagt, sollte: (iv) der zSV auf beiden Augen gleich stark ausgeprägt sein sowie (v) zwei Gruppen unterschieden werden, wobei eine Gruppe einen semi-opaken zSV und die andere einen opaken zSV aufweisen sollte. Geplant war daher eine Untersuchung von AMD Patienten in verschiedenen Stadien der Erkrankung (vgl. Kapitel 2). Patienten im Frühstadium und im frühen Spätstadium zeigen eine reduzierte foveale Sehschärfe, wobei sie allerdings *noch* foveal fixieren (ad v). Bei einigen dieser Patienten entwickelt sich dieser Sehverlust auf beiden Augen (ad iv), wenngleich dies nicht der Regelfall ist (Eter, 2009). Diese Patientengruppe sollte mit der *CVB* Gruppe aus Experiment 1 verglichen werden. Ziel war es die Annahmen beim Vorliegen eines natürlich entstanden semi-opaken zSV zu prüfen. Bei Patienten im Spät- und Endstadium ist das foveale Sehen defekt (ad v) und sie fixieren exzentrisch (Pseudofovea oder PRL, vgl. Tabelle 3.2.1, S. 29). Bei einigen dieser

Patienten sind beide Augen von einem opaken zentralem Skotom (ad iv) betroffen (Eter, 2009). Diese Patientengruppe sollte mit der *CVL* Gruppe aus Experiment 1 verglichen werden. Ziel war es die Annahmen der *Gradientenhypothese* beim Vorliegen eines natürlich entstanden opaken zSV zu prüfen und von eventuell auftretenden Alterseffekten zu trennen. Hinsichtlich der Sehfähigkeiten gesunde Probanden ab 50 Jahren sollten hierfür eine äquivalente Kontrollstichprobe zu der *NVL* Gruppe aus Experiment 1 darstellen (ad iii).

### 9.2.2 Tatsächliche Zusammensetzung der Patientenstichprobe

Die Patientenakquise erfolgte im Rahmen einer größeren Untersuchung an der Universitäts-Augenklinik in Magdeburg (Sektion für klinische und experimentelle Sinnesphysiologie, Michael Hoffmann). Es wurden für dieses Experiment 13 Patienten (mittleres Alter: 71.28 Jahre; Spanne: 69 bis 77 Jahre; fünf Männer) sowie neun Kontrollprobanden (65.89 Jahre; Spanne: 54 bis 74 Jahre; drei Männer) akquiriert. Tabelle 9.1 (S. 167) zeigt die ophthalmologogischen Charakteristika der Kontrollprobanden und Patienten. Ausschlaggebend sind die Spalten „Visus“ (beschreibt die Sehschärfe der Augen) und „SG“ (zeigt die Ausprägung des zSV in Grad visueller Sehwinkel) sowie die Spalte „FP“ (zeigt die retinale Fixationsposition an). Die oben benannten Kriterien (iv und v) wurden lediglich von fünf Patienten erfüllt (P1, P5, P6, P12 und P13). Dabei fallen P1, P5, und P6 am ehesten in die Gruppe mit einem semi-opaken Skotom, da das zentrale Sehen auf beiden Augen eingeschränkt ist, die Fixation aber *noch* zentral ist. P12 und P13 weisen einen binokularen opaken zSV auf. Mit anderen Worten sind lediglich diese fünf Patienten mit den simulierten Skotomgruppen aus Experiment 1 vergleichbar. Die verbleibenden Patienten zeigten entweder kaum Veränderungen der Sehschärfe (P1 und P3) oder interokular sehr unterschiedliche Ausprägungen des zSV (P4, P7, P8, P9, P10, P11). Dies führte dazu, dass diese Patienten nicht mit den Probanden aus Experiment 1 verglichen werden konnten. Die Gesichtsfelder stimmen zwischen diesen Patienten und den Probanden mit simulierten Skotomen nicht überein. Daraus resultierend ist es schwer nachvollziehbar, wie sich attentionale Prozesse verändern, wenn beide Augen unterschiedlich betroffen sind. Die Akquise der Kontrollprobanden kann hingegen als erfolgreich gewertet werden.

**Tabelle 9.1.:**
Ophthalmologische Charakteristika

| GR | KD | VISUS | | SG | | FP | | MD | | LV | | RF | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RA | LA | RA | LA | RA | LA | RA | LA | RA | LA | RA | LA |
| Kontrollprobanden (AMD0) | K1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0 | z | z | .2 | -.9 | 5.5 | 3.0 | 0 | 0 |
| | K2 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | z | z | .7 | -.9 | 17 | 4.7 | 0 | 0 |
| | K3 | 1.0 | .8 | 0 | 0 | z | z | .3 | .6 | 15 | 5.5 | 0 | 0 |
| | K4 | 1.3 | 1 | 0 | 0 | z | z | -1.4 | -2.0 | 2.8 | 4.5 | 0 | 13 |
| | K5 | .8 | 1.0 | 0 | 0 | z | z | 2.5 | -.1 | 18 | 7.2 | 6.7 | 26.7 |
| | K6 | 1.0 | 1.3 | 0 | 0 | z | z | -1.1 | 1.6 | 2.0 | 4.6 | 0 | 0 |
| | K7 | 1.3 | 1.0 | 0 | 0 | z | z | 3.1 | 4.7 | 6.3 | 8.4 | 7.1 | 6.7 |
| | K8 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | z | z | 1.0 | .4 | 2.9 | 5.1 | 0 | 0 |
| | K9 | 1.0 | 1.3 | 0 | 0 | z | z | .5 | .1 | 4.1 | 3.5 | 0 | 7.1 |
| | $M_{AMD0}$ | 1.1 | 1.1 | 0 | 0 | z | z | .6 | .3 | 8.1 | 5.2 | 1.5 | 5.9 |

K7 zeigte zwar auffällige Werte auf beiden Augen hinsichtlich des mittleren Defekts und der Verlustvarianz.
Aufgrund des guten Visus und der Empfehlung der Augenärzte wurde er trotzdem als Kontrollproband behandelt.

**Tabelle 9.1.:**
Ophthalmologische Charakteristika (Fortsetzung)

| GR | KD | VISUS | | SG | | FP | | MD | | LV | | RF | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RA | LA | RA | LA | RA | LA | RA | LA | RA | LA | RA | LA |
| Patienten | P1 | .63 | .63 | 0 | 0 | z | z | 2.7 | 5.8 | 6.9 | 19.2 | 0 | 0 |
| | P2 | .8 | 1 | 0 | 0 | z | z | 6.5 | 6.3 | 67.7 | 65.1 | 0 | 0 |
| | P3 | .8 | 1.0 | 0 | 0 | z | z | 1.8 | 3.2 | 7.9 | 18.4 | 7.1 | 0 |
| | P4 | .3 | 1.0 | 0 | 0 | z | z | 9.2 | 3.8 | 68 | 33 | 9.5 | 4.8 |
| | P5 | .8 | .2 | 0 | 0 | z | z | 4.5 | 5.2 | 12 | 8.4 | 0 | 0 |
| | P6 | .63 | .8 | 0 | 0 | z | z | 6.8 | 3.3 | 15.2 | 6.0 | 7.1 | 0 |
| | P7 | 1.3 | .4 | 0 | 0 | z | z | -.3 | 3.2 | 7.7 | 6.3 | 13 | 0 |
| | P8 | .1 | .5 | 23;25 | 0 | e | z | 20 | 5.1 | 50 | 11 | 14 | 0 |
| | P9 | .2 | .7 | 9;9 | 0 | e | z | 3.8 | 5.0 | 38 | 49 | 0 | 0 |
| | P10 | .6 | – | 0 | 5;11 | z | e | 1.8 | 11 | 20 | 71 | 0 | 13 |
| | P11 | 1.0 | $< .05$ | 0 | 30;29 | z | e | 7.4 | 17 | 21 | 79 | 0 | 13 |
| | P12 | .3 | .3 | 11;11 | 18;20 | e | e | 4.2 | 9.1 | 66 | 115 | 0 | 5.9 |
| | P13 | $< .05$ | .13 | 15;20 | 2;2 | e | e | 21 | 5.8 | 72 | 57 | 15 | 0 |

GR: Gruppe; KD: Kodierung; SG: Skotomgröße (° visueller Sehwinkel; horizontal; vertikal); RA: rechtes Auge; LA: linkes Auge; FP: Fixationsposition (z: zentral; e: exzentrisch); MD: Mittlerer Defekt (dB); LV: Verlustvarianz ($dB^2$); RF: Zuverlässigkeitsfaktor (%); Die Maße sind in Abschnitt 2.6, S. 19 erklärt. Grau markierte Patienten zeigen ähnliche Ausprägungen des zSV wie die Probanden mit den simulierten Zentralskotomen in Experiment 1.

### 9.2.3 Konsequenzen für das experimentelle Vorgehen

Da die Patientenstichprobe nicht den Kriterien genügte, die zu vergleichbaren Stichproben zu Experiment 1 geführt hätten, musste die Analyse der Daten angepasst werden. Die Patienten wurden nicht wie geplant in zwei Gruppen (semi-opakes Skotom, opakes Skotom) eingeteilt, sondern einzeln betrachtet. Damit zusammenhängend wurden die Fragestellung sowie die Auswertungsstrategie entsprechend angepasst und nicht wie geplant äquivalent zu der Fragestellung sowie der Auswertung des Experiments 1 (Fragestellung: Abschnitt 7.2.1, S. 99; Analyseschritte I-IV: Abbildung 7.3.6, S. 107) beantwortet bzw. durchgeführt.[1] Stattdessen wurden auf der Basis der individuellen Patientendaten zwei Fragestellungen verfolgt (A und B). Darüber hinaus wurden mit Hilfe der Kontrollprobanden die Effekte des Alters kontrolliert.

#### Fragestellungen

A Führen natürlich entstandene Skotome zu ähnlichen Veränderungen der Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus wie die simulierten Skotome in Experiment 1?

B Welche natürlich entstandene Skotome entsprechen in ihren Auswirkungen auf visuelle Suchmuster jenen der simulierten Skotome in Experiment 1?

Um die Fragestellung A zu beantworten, wurden das Suchverhalten der Patienten analysiert, die zu den simulierten Skotomen vergleichbare Ausprägung des zSV zeigten. Analysiert wurden die individuellen Daten dieser Patienten im Hinblick auf die Ähnlichkeit der Suchmuster mit der entsprechenden simulierten Skotomgruppe des ersten Experiments. Mit anderen Worten wurden die individuellen Daten der Patienten P1, P6, P7 mit den Ergebnissen der *CVB* Gruppe (binokulare semi-opake Skotome) und jene der Patienten P12, P13 mit den Resultaten der *CVL* Gruppe (binokulare opake Skotome) verglichen.
Um die Fragestellung B zu beantworten, wurden die restlichen Patienten betrachtet. Zunächst wurden ungeachtet ihrer ophthalmologischen Charakteristika die Suchmuster analysiert und untersucht, zu welchen Ergebnissen der simulierten Skotomgruppen des ersten Experiments sie passen.
Die Kontrollprobanden wurden zu einer Gruppe zusammengefasst (im Folgenden mit *AMD0* bezeichnet) und mit den Resultaten der *NVL* Gruppe, der Kontrollgruppe des

[1] Interessehalber wurden ebenso die entsprechenden Gruppenvergleiche mit der vorliegenden Stichprobe durchgeführt. Auf Nachfrage werden die Ergebnisse gern zur Verfügung gestellt.

Experiments 1, verglichen. Damit sollten die Effekte des Alters identifiziert und gegebenenfalls kontrolliert werden.
Ähnlich zu Experiment 1 wurde eine offene visuelle Merkmalssuche (vgl. Abschnitt 5.1, S. 58) durchgeführt. Um die Belastung für die Patienten so gering wie möglich zu halten, wurde der *Stimuluskontrast* auf zwei Stufen (ehemals Stufe 1 und 4) sowie die *Objektanzahl* auf zwei Stufen (vier und acht Objekte) reduziert. Es wurden sowohl Reaktionszeiten und Fehler als auch Augenbewegungen aufgezeichnet. Äquivalent zu Experiment 1 wurden die Suchmuster durch *Effizienz*, *Fokusgröße* und *Systematik* charakterisiert. Die nachfolgende Tabelle (Tabelle 9.2, S.170) gibt einen Überblick über Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Experiment 1 und Experiment 3.

### Erwartungen

Es wurde vermutet, dass sich für die Kontrollgruppe (*AMD0*) die gleichen Muster zeigen wie sie für die *NVL* Gruppe des Experiments 1 beobachtet wurden. Mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* sollte eine *ineffizientere* Suche, mit *kleiner* werdenden *Foki* sowie einer *unsystematischere* Suche einhergehen. Weiterhin wurde erwartet, dass sich für alle drei Variablen ein Effekt des Alters zeigt und die älteren Kontrollprobanden im Vergleich zu den jungen Kontrollprobanden aus Experiment 1 *ineffizienter*, mit kleineren *Foki* sowie *unsystematischer* suchen.
Für die Patienten P1, P6, P7 wurde jeweils erwartet, dass sie mit abnehmendem *Stimuluskontrast ineffizienter*, mit *kleiner* werdenden *Foki* sowie *unsystematischer* suchen. Sie sollten damit das Suchmuster zeigen, dass vormals die *CVB* Gruppe gezeigt hatte. Wie die Kontrollprobanden sowie die anderen Patienten sollten ebenso P12 und P13 *ineffizienter* und *unsystematischer* suchen, wenn der *Stimuluskontrast* sinkt. Im Gegensatz zu den Suchmustern der Kontrollprobanden sowie der anderen Patienten wurden über beide Stufen des *Stimuluskontrastes* konstant große *Fokusgrößen* erwartet. Sie sollten damit das Suchmuster zeigen, dass vormals die *CVL* Gruppe gezeigt hatte.

**Tabelle 9.2.:**
Übersicht über Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Experiment 1 und 3

| Kriterium | Experiment 1 | Experiment 3 |
|---|---|---|
| Paradigma | offene visuelle Merkmalssuche | offene visuelle Merkmalssuche |
| UVs | Stimuluskontrast: S 1–S 4<br>Objektanzahl: 4, 6 & 8<br>Gruppe: NVL, CVB, CVL | Stimuluskontrast: S 1 & S 4<br>Objektanzahl: 4 & 8<br>Gruppe: AMD0, keine Patientengruppen |
| AVs | Effizienz,<br>Fokusgröße,<br>Systematik | Effizienz,<br>Fokusgröße,<br>Systematik |
| Fragestellung | Stellt die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus dar? (*Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*)? | A: Führen natürlich entstandene Skotome zu ähnlichen Veränderungen der Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus?<br>B: Welche Ausprägung natürlich entstandener Skotome entsprechen jenen der simulierten Skotome in Experiment 1? |
| Analyse | Gruppenvergleiche,<br>individuelle Datenanalyse,<br>Diskriminanzanalyse | A: Individuelle Analyse und Klassifizierung der Patienten, die zu den simulierten Skotomen vergleichbare Ausprägung des zSV zeigen.<br>B: Individuelle Analyse und Klassifizierung der Patienten, die zu den simulierten Skotomen keine vergleichbare Ausprägung des zSV zeigen. |

zSV: zentraler Sehverlust; S: Stimuluskontraststufe; *NVL*: Kontrollgruppe Experiment 1,
*CVB*, *CVL*: Skotomgruppen Experiment 1; *AMD0*: Kontrollgruppe Experiment 3

## 9.3 Methode

### 9.3.1 Probanden

Die Stichprobe wurde unter Abschnitt 9.2.2 (S. 165) bereits ausführlich beschrieben. Die Teilnehmer erhielten Geld für die Partizipation an dem Experiment.

### 9.3.2 Apparatur

Die Patienten wurden in zwei Laboren getestet. In dem einen Labor wurden die Reize auf einem Monitor mit einer Breite von 508 mm und einer Bildwiederholungsfrequenz von 85 Hz sowie einer Auflösung von 1600 × 1200 px präsentiert. Die Präsentation wurde durch Matlab 6.5 unter der Benutzung der *Psychophysics toolbox* (Brainard, 1997; Cornelissen, Peters & Palmer, 2002) auf einem DELL Pentium IV Computer erzeugt. Die Augenbewegungen wurde mit einem *EyeLink II* (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) aufgezeichnet. In dem zweiten Labor erfolgte die Reizpräsentation auf einem Monitor mit einer Breite von 474 mm und einer Bildwiederholungsfrequenz von 120 Hz sowie einer Auflösung von 1680 px × 1050 px. Die Augenbewegungen wurde mit einem *Eyelink 1000 Desktop Mount* (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) aufgezeichnet. In beiden Laboren wurden die sogenannte *corneal reflection* und das *pupil tracking* verwendet. Die Kopfposition der Probanden wurden mit einer Kinnstütze in einem Abstand von 550 mm zum Monitor gefestigt. Die Probanden antworteten mit dem rechten Zeigefinger auf einem der beiden Antwortknöpfe. Neue Durchgänge wurden mit dem Drücken der Leertaste mit dem linken Zeigefinger gestartet. Zu Beginn jedes Blocks (je 18 Trials) wurde eine Neun-Punkt-Kalibrierung und Validierung der Genauigkeit der Blickmessung durchgeführt. Nach jedem sechsten Trial wurde erneut ein Fixationspunkt in der Mitte des Bildschirms präsentiert, um Abweichungsfehler zu korrigieren (*drift corection*). Zur visuellen Unterstützung der Kalibrierungs-, Validierungs- sowie Drifttargets wurden jeweils große Fadenkreuze um diese präsentiert.

### 9.3.3 Stimuli

Grau gestreifte Kreise dienten als Ablenkerreize (Ortsfrequenz: 3.2 cpd; Luminanz: 6.89 $cd/m^2$; xy-CIE-Koordinaten: 0.3, 0.3). Die Luminanz des grauen Hintergrundes war 12.27 $cd/m^2$ (xy-CIE-Koordinaten: 0.29, 0.3). Die Zielreize waren Ellipsen, welche sich in zwei Abstufungen der Form (*Stimuluskontrast*) von den Distraktoren unterschieden. Alle Reize wiesen einen Durchmesser von 1.3° auf. Distraktoren und Targets sind in Kapitel 7 dargestellt (Abbildung 7.3, S. 103, a). Hier relevant waren die Stimuluskontraststufen eins (*S 1*) und vier (*S 4*).

Es wurden vier oder acht Kreise (*Objektanzahl*), nebeneinander auf einem imaginären Kreis von 8° Durchmesser angeordnet, an einer Untermenge von zwölf Positionen dargeboten (vgl. Abbildung 7.3, S. 103, b). Die Dichte des Displays wurde konstant gehalten, das heißt, dass mit einer größeren Objektanzahl eine größere räumliche Ausdehnung des Itemdisplays verbunden war. Die Startposition wurde zufällig für jeden Durchgang gewählt, war aber für alle Probanden gleich.

### 9.3.4 Versuchsdurchführung

Der experimentelle Ablauf glich dem des Experiments 1 (Kapitel 7). Verändert wurde nur die Anzahl der Durchgänge und die Stufen der Faktoren, um eine zu hohe Belastung für die Patienten zu vermeiden. Ein Block umfasste 18 Durchgänge, in zwölf davon wurde ein Target dargeboten. Zu Beginn jedes Blocks wurde ein Beispieldurchgang gemeinsam mit dem Versuchsleiter durchgeführt. Im Laufe des Experiments wurde jeder Block zweimal ausgeführt. In der ersten Hälfte wurden die Reize in absteigender Reihenfolge des *Stimuluskontrastes* und der *Objektanzahl* präsentiert, startend mit einem Block der *Stimuluskontraststufe* eins (*S 1*) und *Objektanzahl* vier und endend mit einem Block der *Stimuluskontraststufe* vier (*S 4*) und *Objektanzahl* acht. In der zweiten Hälfte war es umgekehrt. Das Experiment dauerte circa eine Stunde. Insgesamt wurden pro Versuchsperson 144 Durchgänge (36 pro Bedingungskombination) durchgeführt.

### 9.3.5 Versuchsplan

Dem Versuch lag ein 2 (*Stimuluskontrast*) × 2 (*Objektanzahl*) Design zugrunde. Beide Faktoren waren *within-subject* Faktoren.

### 9.3.6 Datenanalyse

#### Ausschlusskriterien

Die ersten zwei Durchgänge jedes Blocks wurden ebenso von der Analyse ausgeschlossen wie die Durchgänge ohne Target. Innerhalb der individuellen Daten wurden Durchgänge nicht für die Auswertung berücksichtigt, welche mehr als zwei Standardabweichungen von dem individuellen Mittelwert abwichen. Damit wurden durchschnittlich 3.13 % (Spanne: 0 % bis 6.25 %) der Durchgänge für die Reaktionszeitanalyse; 5.36 % (Spanne: 0 % bis 5.94 %) der Durchgänge für die Analyse der Sakkadenamplituden sowie im Mittel 1.70 % (Spanne: 0 % bis 6.25 %) der Durchgänge für die Auswertung der Mehrfachfixierungen ausgeschlossen.
Weiterhin wurden nur die Augenbewegungen analysiert, welche in das Reaktionszeitfenster fielen (von der Reizerscheinung bis zur Antwort). Wie in Experiment 1 wurde für die Analyse der Augenbewegungen zunächst nur die *Objektanzahl* von acht Items beachtet.

#### Abhängige Variablen

Es sei insbesondere darin erinnert, dass das Itemdisplay in zwölf Sektoren mit einer jeweiligen Größe von 30° KW aufgeteilt wurde (vgl. Abbildung 7.3, S. 103, untere Grafik, rechte Seite). Die Zentren der Sektoren koinzidieren mit denen der Items. Die zu untersuchenden Suchmuster werden durch (a) die *Effizienz*, (b) die *Fokusgröße* und (c) die *Systematik* der visuellen Suche charakterisiert.
Die Variablen wurden wie in Experiment 1 durch die Reaktionszeitanstiege, die Sakkenamplituden sowie den Gegenanteil der Mehrfachfixierungen gebildet (vgl. Abschnitt 7.3.6, S. 106).

#### Analyse

Entsprechend den Erwartungen erfolgte die Analyse in drei Schritten. Zunächst wurde das Akkommodationsmuster der Kontrollprobanden (*AMD0*) an einen steigenden *Stimuluskontrast* untersucht (Analyse I). Diese Resultate wurden mit denen der jüngeren Kontrollgruppe des ersten Experiments verglichen, um einen möglichen Alterseffekt zu ermitteln. Anschließend wurden die individuellen Akkommodationsmuster der Patienten P1, P6, P7 bzw. P12 und P13 exploriert und mit jenen der *CVB* Gruppe bzw. *CVL* Gruppe des Experiments 1 verglichen (Analyse II). Abschließend wurden die individuellen Akkommodationsmuster der restlichen Patienten analysiert und Patienten identifiziert, welche in ihren Akkommodationsmustern zu den Suchmustern der Skotomgruppen des ersten Experiments passen (Analyse III). Das Signifikanzniveau wurde pro statistischem Test auf

$\alpha = .05$ oder auf $\alpha = .20$ festgesetzt, wenn die Erwartungen der $H_1$ oder der $H_0$ entsprachen.[2] Die geschätzten Effektstärken wurden als *Cohens* $\hat{d}$ angegeben (genaue Berechnung siehe Wollschläger, 2010, S. 215).

## 9.4 Analyse I - Alterseffekte

Ziel dieser Analyse war es, zu überprüfen, ob die älteren Kontrollprobanden (*AMD0*) eine typische Anpassung an einen sinkenden *Stimuluskontrast* zeigen. Darüber hinaus wurde durch einen Vergleich mit den jüngeren Kontrollprobanden des ersten Experiments (*NVL*) der Effekt des Alters ermittelt.[3]

### 9.4.1 Design

Zunächst wurden in dem einfaktoriellen Design mit dem *within-subject* Faktor *Stimuluskontrast* die Akkommodationsmuster der Kontrollprobanden *AMD0* an einen sinkenden *Stimuluskontrast* untersucht. In einem zweiten Schritt wurden diese Resultate mit den Ergebnissen der *NVL* Gruppe (vgl. Abschnitt 7.4.3, S. 109) in dem 2 (*Gruppe*) $\times$ 2 (*Stimuluskontrast*) Design verglichen.

**Tabelle 9.3.:**
Analyse I - Erwartungswerte und Hypothesen

| | Stimuluskontrast | | |
|---|---|---|---|
| Gruppe | S 1 | S 4 | Hypothesen |
| NVL (Experiment 1) | $\mu_{11}$ (48) | $\mu_{14}$ (48) | |
| | | | $(\mu_{14} - \mu_{11}) > (\mu_{24} - \mu_{21})$ (gilt für die *Effizienz*) |

[2] Bei Mehrfachtestung wurde keine $\alpha$- Korrektur vorgenommen, um sich eine möglichst gute Testpower zu erhalten.

[3] Die Kontrollstichproben der beiden Experimente unterscheiden sich hauptsächlich durch das Alter. Da aber ebenso der experimentelle Ablauf in dem hier vorliegenden Experiment im Vergleich zu Experiment 1 leicht verändert wurde (z.B. Reduzierung der Stimuluskontrastabstufungen), sind auch Einflüsse dieser methodischen Unterschiede nicht ausgeschlossen. Die später angewandten Korrekturverfahren, korrigieren demnach das Alter, aber auch diese methodischen Unterschiede. Zentral für die vorliegende Arbeit sind allerdings die Alterseffekte, daher werden diese fokussiert.

**Tabelle 9.3.:**
Analyse I - Erwartungswerte und Hypothesen (Fortsetzung)

| | Stimuluskontrast | | |
|---|---|---|---|
| Gruppe | S 1 | S 4 | Hypothesen |
| | | | $(\mu_{11} - \mu_{14}) > (\mu_{21} - \mu_{24})$ (gilt für die Fokusgröße und Systematik) |
| AMD0 (Experiment 3) | $\mu_{21}$ (24) | $\mu_{24}$ (24) | $\mu_{24} > \mu_{21}$ (gilt für die Effizienz) |
| | $\mu_{21}$ (24) | $\mu_{24}$ (24) | $\mu_{21} > \mu_{24}$ (gilt für die Fokusgröße und Systematik) |

$\mu$: Erwartungswerte (Anzahl der Durchgänge)
$\mu_{24}$ wurde hier gewählt, um eine Äquivalenz zu der Notation des Experiments 1 herzustellen.
In Experiment 4 gab es nur zwei Stimuluskontraststufen, wobei die zweite Stufe der vierten Stufe in Experiment 1 entsprach.

### 9.4.2 Abhängige Variablen

Da der Faktor *Stimuluskontrast* hier nur zwei gestuft vorlag, wurde zwischen den Stimuluskontraststufen *S 1* und *S 4* für jeden Probanden eine Differenzvariable pro abhängiger Variable gebildet. Dabei wurden die Werte für die Variable *Effizienz* in *S 1* von *S 4* subtrahiert. Die Werte für die Variablen *Fokusgröße* bzw. *Systematik* wurden in *S 4* von *S 1* subtrahiert. Positive Werte sprechen demnach für eine höhere *Effizienz* und *Systematik* sowie eine größere *Fokusgröße* in Stimuluskontraststufe *S 1* als in *S 4*.

### 9.4.3 Hypothesen

(i) Ausgehend von der *Gradientenhypothese* (Abschnitt 6.3, S. 81) und Experiment 1 werden für die Probanden der *AMD0* Gruppe eine sinkende *Effizienz* sowie *Fokusgröße* und *Systematik* mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* angenommen.

$H_{AMD0} : \mu_{24} > \mu_{21}$ bzw. $\mu_{24} - \mu_{21} > 0$
(gilt für die *Effizienz*)

$H_{AMD0} : \mu_{21} > \mu_{24}$ bzw. $\mu_{21} - \mu_{24} > 0$
(gilt für die *Fokusgröße* und die *Systematik*)

(ii) Darüber hinaus wird ein Effekt des Alters erwartet (vgl. Abschnitt 5.1.3, S. 62). Die Probanden der *AMD0* Gruppe sollten in jeder Stimuluskontraststufe *ineffizienter*, mit kleineren *Fokusgrößen* sowie *unsystematischer* suchen als die jungen Kontrollprobanden der *NVL* Gruppe.

$H_{Alterseffekt} : (\mu_{14} - \mu_{11}) > (\mu_{24} - \mu_{21})$ bzw. $(\mu_{14} - \mu_{11} - \mu_{24} + \mu_{21}) > 0$
(gilt für die *Effizienz*)

$H_{Alterseffekt} : (\mu_{11} - \mu_{42}) > (\mu_{21} - \mu_{24})$ bzw. $(\mu_{11} - \mu_{14} - \mu_{21} + \mu_{24}) > 0$
(gilt für die *Fokusgröße* und die *Systematik*)

### 9.4.4 Analysemethoden

Der Haupteffekt des Faktors *Stimuluskontrast* wurde hier mittels t-Tests der Differenzvariablen gegen Null getestet.[4] Der Gruppenvergleich wurde mit einen t-Test innerhalb der beiden Stimuluskontraststufen durchgeführt.

[4] In Experiment 1 wurde der bedingte Haupteffekt des viergestuften Faktors *Stimuluskontrast* mit einer Varianzanalyse mit Messwiederholung getestet.

### 9.4.5 Ergebnisse

#### Akkommodationsmuster der Kontrollprobanden (AMD0)

Der Einfluss des Faktors *Stimuluskontrast* auf die Variablen *Effizienz*, *Fokusgröße* sowie *Systematik* ist in Abbildung 9.1 (S. 179) dargestellt. Die deskriptiven Ergebnisse können der Tabelle 9.4 (S. 178) entnommen werden. Wie erwartet zeigten die Probanden der *AMD0* Gruppe eine geringere *Effizienz* mit sinkendem *Stimuluskontrast* ($t_8 = 3.17, p = .01, \hat{d} = 1.06$).[5] Für die *Fokusgröße* wurde erwartungskonform eine Verkleinerung mit sinkendem *Stimuluskontrast* beobachtet ($t_8 = 1.99, p = .04, \hat{d} = .66$). Wie erwartet nahm die *Systematik* mit einem abnehmenden *Stimuluskontrast* ab ($t_8 = 8.07, p < .01, \hat{d} = 2.69$).

#### Vergleich der *AMD0* Gruppe mit der *NVL* Gruppe

Entgegen der Erwartung suchten die älteren Kontrollprobanden (*AMD0*) nicht *ineffizienter* als die jüngeren (*NVL*) - weder in *S 1* ($t_{14} = .51, p = .31, \hat{d} = .25$) noch in *S 4* ($t_{14} = 1.22, p = .12, \hat{d} = .67$). Die deskriptiven Ergebnisse zeigten allerdings deutlich den erwarteten Effekt des Alters in beiden Stimuluskontraststufen (vgl. Tabelle 9.4, S. 178, erste und zweite Zeile).

Wie erwartet präsentierten die älteren Kontrollprobanden (*AMD0*) kleinere *Fokusgrößen* als die jüngeren (*NVL*) in beiden Stimuluskontraststufen (*S 1*: $t_{14} = -2.54, p = .01, \hat{d} = -1.67$; *S 4*: $t_{14} = -3.63, p < .01, \hat{d} = -1.28$).

Ebenso den Erwartungen entsprechend suchten die älteren Kontrollenprobanden (*AMD0*) *unsystematischer* als die jüngeren (*NVL*). Dies traf für *S 1* ($t_{14} = -2.42, p = .01, \hat{d} = -1.22$ sowie *S 4* ($t_{14} = -2.23, p = .02, \hat{d} = -1.13$) zu.

Da sich die jüngeren und älteren Kontrollprobanden (bzgl. der *Effizienz* nur deskriptiv) unterschieden, wurden die folgenden Mittelwertsunterschiede zwischen den Gruppen pro Stimuluskontraststufe berechnet (Tabelle 9.5, S. 178) und für spätere Analysen als Korrekturwerte verwendet, wenn der Einfluss des Alters korrigiert werden sollte.

[5] Die Fehlerverläufe präsentierten sich ähnlich zu den Reaktionszeitverläufen ($t_8 = 3.36, p = .01, \hat{d} = 1.12$), so dass ein *speed-accuracy trade-off* nicht als so erheblich eingestuft wurde, als dass er die Interpretation der Ergebnisse in Frage gestellt hätte.

**Tabelle 9.4.:**
Analyse I - Alterseffekte

| | Stimuluskontrast | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | S 1 | | S 4 | | Σ | |
| | M | SD | M | SD | M | SD |
| Effizienz | | | | | | |
| AMD0 | 19.35 | 81.07 | 197.22 | 125.98 | 108.29 | 31.75 |
| NVL | 3.62 | 12.48 | 128.96 | 62.64 | 66.26 | 37.66 |
| Fokusgröße | | | | | | |
| AMD0 | 2.88 | .64 | 2.47 | .45 | 2.71 | .55 |
| NVL | 6.03 | 1.41 | 3.46 | .84 | 4.75 | 1.23 |
| Systematik | | | | | | |
| AMD0 | .91 | .05 | .62 | .06 | .76 | .05 |
| NVL | .99 | .01 | .74 | .03 | .86 | .02 |
| Fehlerraten | | | | | | |
| AMD0 | 0.01 | 0.04 | .17 | .15 | .09 | .10 |
| NVL | 0.00 | 0.00 | .24 | .12 | .24 | .12 |

M: Mittelwert; SD: Standardabweichung

**Tabelle 9.5.:**
Korrekturwerte

| | Stimuluskontrast | |
|---|---|---|
| | S 1 | S 4 |
| Effizienz | 15.75 | 68.26 |
| Fokusgröße | -1.20 | -.82 |
| Systematik | -.08 | -.12 |

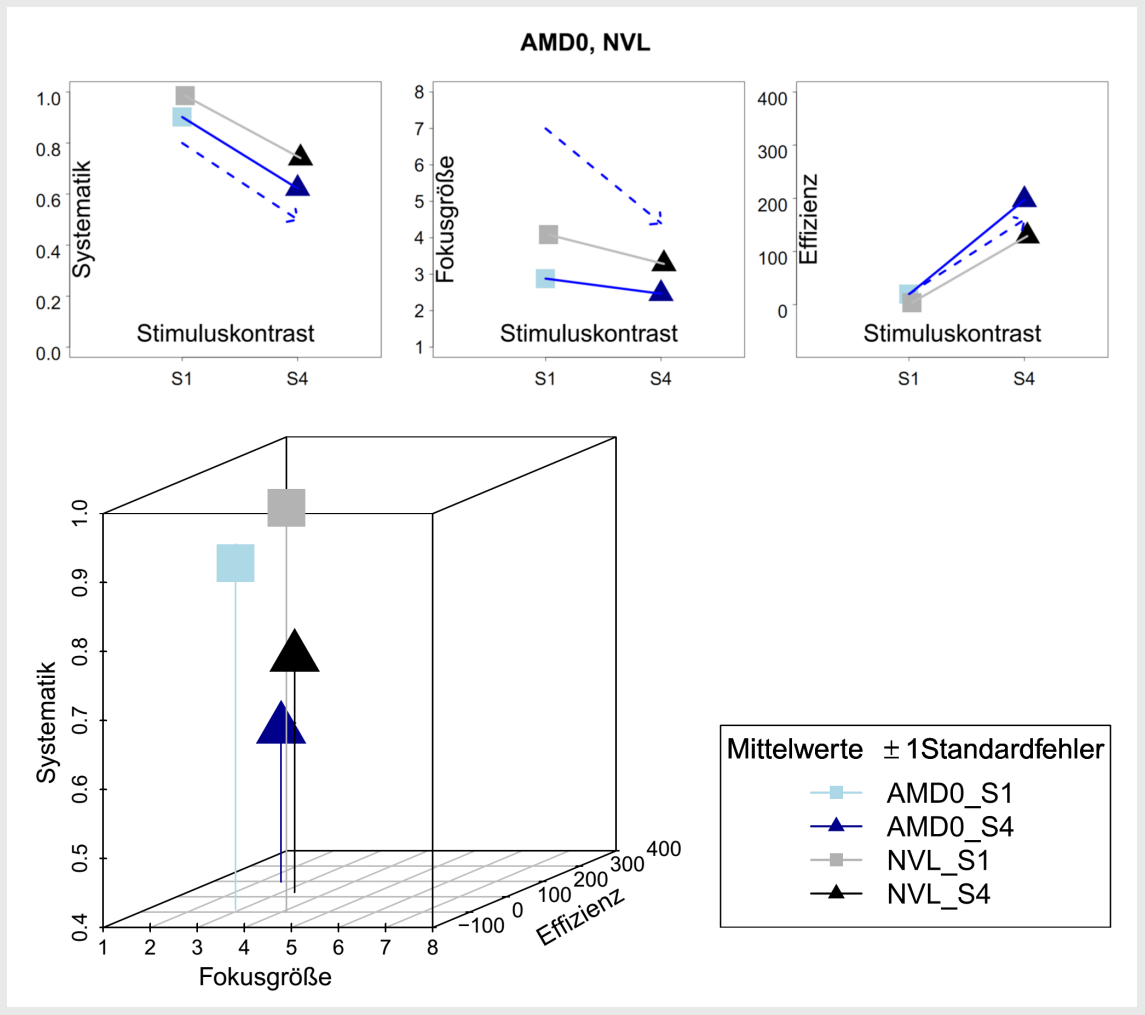



**Abbildung 9.1.:** Der Kubus veranschaulicht die *Effizienz*, die *Systematik* sowie die *Fokusgröße* für die zwei Stimuluskontraststufen. An der x-Achse ist die *Fokusgröße* abgetragen. Der Wertebereich lag zwischen eins und acht Items. Je größer die angegebenen Werte waren, desto größer wurde die *Fokusgröße* geschätzt. Die y-Achse zeigt die *Systematik*. Es konnten Werte zwischen Null und Eins auftreten. Hier galt, je größer die angegebenen Werte waren, desto *systematischer* war die visuelle Suche. Die z-Achse gibt die *Effizienz* der Suche in ms/Item wieder. Je kleiner die angegeben Werte waren, desto *effizienter* war die visuelle Suche. Für eine genauere Beschreibung der Variablen siehe Abschnitt 7.3.6 (S. 106). Die Abbildungen über dem Kubus repräsentiert die drei Variablen einzeln. Die durchgezogenen Linien verkörpern die Mittelwertverläufe zwischen den Stimuluskontraststufen. Die gestrichelten Pfeile verdeutlichen den erwarteten Verlauf der jeweiligen Variable.

### 9.4.6 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Die Probanden der *AMD0* Gruppe zeigten das erwartete Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast* - das heißt, sie zeigten eine *ineffizientere* sowie *unsystematischere* Suche mit *kleinen Fokusgrößen*. Außerdem waren die erwarteten Effekte des Alters beobachtbar (für die *Effizienz* deskriptiv).

## 9.5 Analyse II - Akkommodation an den *Stimuluskontrast* der konsistenten Patienten (individuelle Analysen)

Ziel dieser Analyse war es, zu prüfen, ob natürlich entstandene Skotome zu ähnlichen Veränderungen der Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus führen wie die simulierten Skotome in Experiment 1 (Fragestellung A). Dafür wurden die individuellen Akkommodationsmuster der Patienten P1, P6, P7 bzw. P12 und P13 analysiert. Darüber hinaus wurde geprüft, ob sie der *CVB* bzw. *CVL* Gruppe des Experiments 1 zugeordnet werden können.

**Tabelle 9.6.:**
Analyse II - Erwartungswerte und Hypothesen

| | Stimuluskontrast | | |
|---|---|---|---|
| KD | S 1 | S 4 | Hypothesen |
| P1, P5, P6 | $\mu_{p1}$ | $\mu_{p4}$ | $\mu_{p4} > \mu_{p1}$ (gilt für die Effizienz) |
| | | | $\mu_{p1} > \mu_{p4}$ |
| | $(p = 1, 5, 6)$ | | (gilt für die Fokusgröße und die Systematik) |
| P12, P13 | $\mu_{p1}$ | $\mu_{p4}$ | $\mu_{p4} > \mu_{p1}$ (gilt für die Effizienz) |
| | $\mu_{p1}$ | $\mu_{p4}$ | $\mu_{p1} > \mu_{p4}$ (gilt für die Systematik) |
| | | | $\mu_{p1} = \mu_{p2}$ |
| | $(p = 12, 13)$ | | (gilt für die Fokusgröße) |

KD: Kodierung; $\mu$: Erwartungswerte

**Tabelle 9.6.:**
Analyse II - Erwartungswerte und Hypothesen (Fortsetzung)

| | Stimuluskontrast | | |
|---|---|---|---|
| KD | S 1 | S 4 | Hypothesen |

## 9.5.1 Design

Der individuellen Datenanalyse lag ein 2 (*Stimuluskontrast*) × 2 (*Objektanzahl*) Design zugrunde. Beide Faktoren waren hier *between-subject* Faktoren.[6]

## 9.5.2 Abhängige Variablen

In dieser Analyse wurden die *Effizienz*, die *Fokusgröße* sowie die *Systematik* in den Stufen der ausgewählten Faktoren betrachtet. Für die Zuordnung zu den Gruppen wurde die Summenvariable der *Fokusgröße* über die Stufen des Faktors *Stimuluskontrast* berechnet (vgl. Abschnitt 7.6.2, S. 120).[7] Außerdem wurde vor der Zuordnung zu jeder individuellen *Fokusgröße* 1.2 (in *S 1*) sowie .82 (in *S 4*) addiert, um den Effekt des Alters zu korrigieren.

## 9.5.3 Hypothesen

Tabelle 9.6 (S. 181) zeigt die Erwartungswerte und Hypothesen.
Die Probanden P1, P6 und P7 zeigen einen zSV, der ähnlich zu den Ausprägungen der simulierten Skotome der *CVB* Gruppe des ersten Experiments sind. Dementsprechend wurde mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* eine *ineffizientere* Suche mit kleiner werdenden *Fokusgrößen* sowie eine *unsystematischere* Suche erwartet.
$H_{Pp} : \mu_{p4} > \mu_{p1}$ ($p = 1, 5, 6$; gilt für die *Effizienz*)
$H_{Pp} : \mu_{p1} > \mu_{p4}$ ($p = 1, 5, 6$; gilt für die *Fokusgröße* und die *Systematik*)

[6] In der individuellen Datenanalyse bilden die Durchgänge innerhalb einer Person die Population.
[7] Da hier auch Werte aus dem ersten Experiment Bedeutung hatten, wurde diese entsprechend an die hier präsentieren Stimuluskontraststufen (*S 1* und *S 4*) angepasst. Die Stufen *S 2* und *S 3* wurden hier nicht betrachtet.

Die Probanden P12 und P13 zeigen einen zSV, der ähnlich zu den Ausprägungen der simulierten Skotome der *CVL* Gruppe des ersten Experiments ist. Dementsprechend wurde mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* eine *ineffizientere* und *unsystematischere* Suche erwartet. Allerdings sollte die *Fokusgröße* konstant groß bleiben, auch wenn der *Stimuluskontrast* sinkt.
$H_{Pp} : \mu_{p4} > \mu_{p1}$ ($p = 12, 13$; gilt für die *Effizienz*)
$H_{Pp} : \mu_{p1} > \mu_{p4}$ ($p = 12, 13$; gilt für die *Systematik*)
$H_{Pp} : \mu_{p1} = \mu_{p4}$ ($p = 12, 13$; gilt für die *Fokusgröße*)

Darüber hinaus wurde vermutet, dass die Patienten P1, P6 und P7 bzw. P12 sowie P13 der *CVB* bzw. *NVL* Gruppe zuzuordnen sind.

### 9.5.4 Analysemethoden

Es wurde der bedingte Haupteffekt des Faktors *Stimuluskontrast* mit einem t-Test für die abhängigen Variablen *Fokusgröße* und *Systematik* getestet.[8] Die individuelle *Effizienz* wurde als Interaktionseffekt zwischen den Faktoren *Stimuluskontrast* und *Objektanzahl* analysiert. Das Signifikanzniveau wurde wie oben beschrieben festgesetzt. Wenn ein $\alpha$ von .05 gewählt wurde, zeigte hier ein $p \leq .1$ tendenziell die erwartete Richtung an.

Um zu prüfen, ob die fünf Patienten entsprechend ihrer Ausprägung des zSV der *CVB* bzw. *CVL* Gruppe des ersten Experiments zuzuordnen sind, wurden die Mittelwerte der Gruppen aus Experiment 1 (*NVL*, *CVB*, *CVL*) herangezogen und geprüft, zu welchem dieser Mittelwerte die Datenpunkte der Patienten die geringste euklidische Distanz aufweisen. Hierbei wurde ausschließlich die in der vorliegenden Arbeit zentrale Variable – *Fokusgröße* – betrachtet. Die Patienten wurden dann der entsprechenden Gruppe zugeordnet, wenn sie zusätzlich nicht weiter entfernt als eine Standardabweichung von dem Gruppenmittelwert waren, zu dem sie die geringste Distanz aufwiesen. Dabei wurde für eine Zuordnung zur *CVB* Gruppe nur eine obere Grenze und für die Zuordnung zur *CVL* Gruppe nur eine untere Grenze festgelegt. Eine Beispielklassifikation ist in Abbildung 9.2 (S. 183) abgetragen.

[8] Der Haupteffekt des Faktors *Stimuluskontrast* wurde nur unter der Bedingung von acht Objekten getestet.

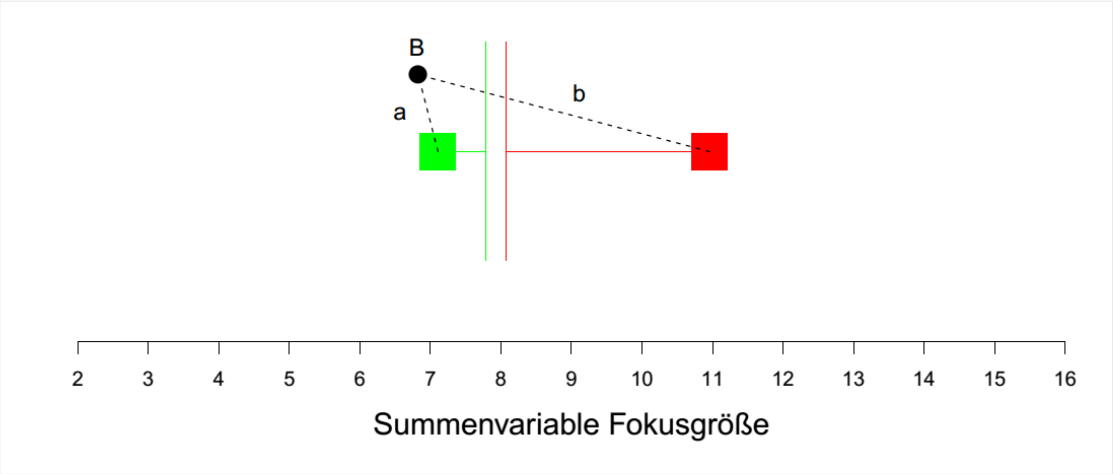



**Abbildung 9.2.:** Diese Abbildung verdeutlicht die Klassifikation anhand der *Fokusgröße* (x-Achse) eines Beispiels (schwarzer Punkt). Die gestrichelten Linien (a bzw. b) zeigen die euklidische Distanz des Punktes zur *CVB* (Mittelwert grünes Quadrat) bzw. zur *CVL* Gruppe (Mittelwert rotes Quadrat) des Experiments 1. Die senkrechten Striche geben eine Standardabweichung vom Mittelwert der jeweiligen Gruppe wieder (*CVL*: grün; *CVB*: rot). Da hier $a < b$ und B innerhalb der „grünen" Grenze liegt, würde dieser Beispielpunkt zu der *CVB* Gruppe zugeordnet werden. B wurde hier zur besseren Veranschaulichung vertikal versetzt.

### 9.5.5 Ergebnisse

#### Akkommodationsmuster

Die Tabelle 9.7 (S. 187) zeigt die Ergebnisse der fünf ausgewählten Patienten. In Abbildung 9.3 (S. 184) sowie in Abbildung 9.4 (S. 185) sind die Ergebnisse illustriert.

Die Patienten P1, P5 und P6 zeigten nur teilweise das Muster, welches die jungen Probanden der *CVB* Gruppe gezeigt hatten. Mit sinkenderm *Stimuluskontrast* wurde die Suche bei P1 und P6 wie erwartet *ineffizienter* und bei P1 und P5 *unsystematischer*. Das erwartete Absinken der *Fokusgröße* mit sinkendem *Stimuluskontrast* konnte bei keinem der drei Patienten beobachtet werden.

Die Patienten P12 sowie P13 zeigten wie erwartet die Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast*. Bezüglich der *Fokusgröße* zeigten sie sogar eine Vergrößerung mit sinkendem *Stimuluskontrast* (P12 tendenziell und P13 signifikant).

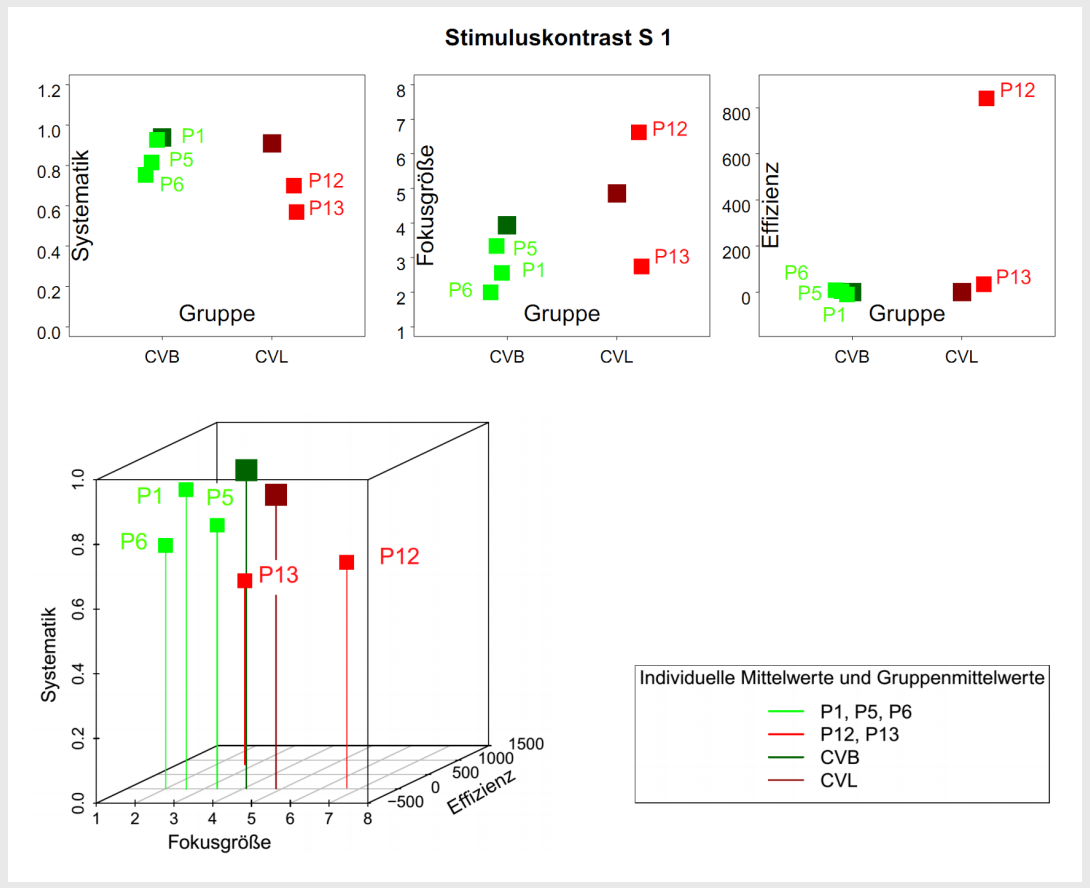



**Abbildung 9.3.:** Diese Abbildung ähnelt Abbildung 9.1 (S. 179). Sie illustriert aber die individuellen Daten der fünf konsistenten Patienten (grün: P1, P5, P6 bzw. rot: P12, P13) im Vergleich zu den Daten der *CVB* bzw. *CVL* Gruppe (dunkelgrün: *CVB* Gruppe bzw. dunkelrot: *CVL* Gruppe) des ersten Experiments. Hier ist *Stimuluskontraststufe S 1* abgebildet. Die Abbildungen über den Kuben repräsentieren die drei Variablen einzeln. Die Datenpunkte sind horizontal leicht versetzt.

## Zuordnung

Die Zuordnung zu den Skotomgruppen des ersten Experiments ist in Abbildung 9.5 (S. 186) veranschaulicht.

P1, P5 sowie P6 wurden anhand der alterskorrigierten *Fokusgröße* wie erwartet der *CVB* Gruppe zugeordnet. Ebenso erwartungskonform wurden P12 sowie P13 zu der *CVL* Gruppe klassifiziert.

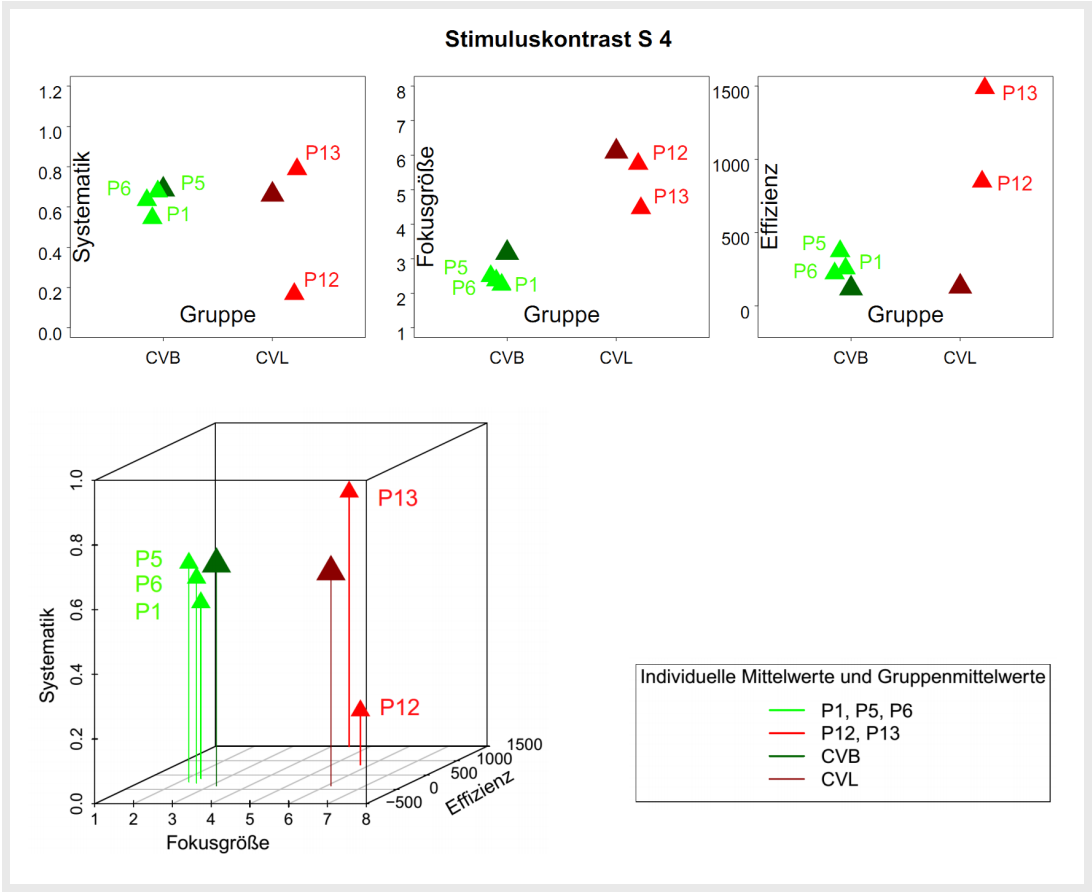



**Abbildung 9.4.:** Diese Abbildung ist ähnlich zu Abbildung Abbildung 9.3 (S. 184) mit der Ausnahme, dass hier die *Stimuluskontraststufe S 4* dargestellt ist.

### 9.5.6 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Patienten mit einem natürlichen binokularen opaken zSV ähnliche Akkommodationmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast* zeigten wie die jüngeren Probanden aus Experiment 1, die mit einem simulierten binokularen opaken Skotom (*CVL*) suchten. Anhand der alterskorrigierten *Fokusgröße* wurden sie diesen ebenso korrekt zugeordnet. Die Akkommodationsmuster der Patienten mit einem natürlichen binokularen semi-opaken zSV waren indes nicht so eindeutig. Insbesondere die Verkleinerung der *Fokusgröße* mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* wurde nicht signifikant. Das könnte an der altersbedingten Verkleinerung der Sakkadenamplituden (hier Korrelat der *Fokusgröße*) gelegen haben, welche ein zusätzliches Absinken mit sinken-

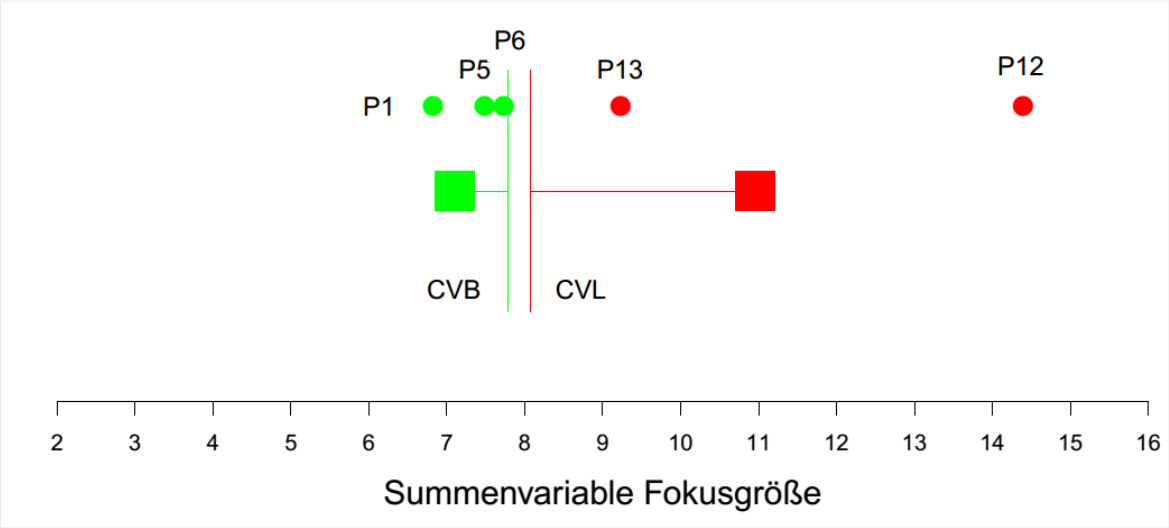



**Abbildung 9.5.:** Diese Abbildung verdeutlicht die Klassifikation anhand der *Fokusgröße* (x-Achse) der ausgewählten Patienten (P1, P5 sowie P6: grüne Punkte bzw. P12 und P13: rote Punkte) zur *CVB* (Mittelwert grünes Quadrat) bzw. zur *CVL* Gruppe (Mittelwert rotes Quadrat) des Experiments 1. Die senkrechten Striche geben eine Standardabweichung vom Mittelwert der jeweiligen Gruppe wieder (*CVL*: grün; *CVB*: rot). Die Punkte wurden hier zur Veranschaulichung vertikal versetzt.

dem *Stimuluskontrast* verhindert. Nach der Korrektur des Alters konnten P1, P5 sowie P6 anhand der *Fokusgröße* den jüngeren Probanden aus Experiment 1, die mit einem simulierten binokularen semi-opaken Skotom (*CVB*) suchten, zugeordnet werden.

**Tabelle 9.7.:**
Analyse II - Akkommodationsmuster

| KD | Variable | F oder t-Wert | p-Wert | Effektstärke |
|---|---|---|---|---|
| P1 | Effizienz | $F_{1,24} = 16.41$ | $< .01$ | $\hat{\eta^2} = .41$ |
| | *Fokusgröße* | $t_{14} = 1.21$ | 0.12 | $\hat{d} = 0.61$ |
| | *Systematik* | $t_{14} = 2.99$ | .01 | $\hat{d} = 1.45$ |
| P5 | *Effizienz* | $F_{1,28} = 2.16$ | .15 | $\hat{\eta^2} = .08$ |
| | *Fokusgröße* | $t_{14} = .75$ | .23 | $\hat{d} = .38$ |
| | *Systematik* | $t_{14} = 2.78$ | .01 | $\hat{d} = 1.39$ |
| P6 | *Effizienz* | $F_{1,28} = 7.60$ | .01 | $\hat{\eta^2} = .21$ |
| | *Fokusgröße* | $t_{14} = -1.66$ | .94 | $\hat{d} = -.83$ |

**Tabelle 9.7.:**
Analyse II - Akkommodationsmuster (Fortsetzung)

| KD | Variable | F oder t-Wert | p-Wert | Effektstärke |
|---|---|---|---|---|
| | *Systematik* | $t_{14} = 1.10$ | .16 | $\hat{d} = .55$ |
| | *Effizienz* | $F_{1,24} = 4.52$ | .04 | $\hat{\eta^2} = .16$ |
| P12 | *Fokusgröße* | $t_{14} = 1.42$ | .09 | $\hat{d} = .71$ |
| | *Systematik* | $t_{14} = 6.45$ | $< .01$ | $\hat{d} = 3.22$ |
| | *Effizienz* | $F_{1,18} = 3.12$ | .01 | $\hat{\eta^2} = .24$ |
| P13 | *Fokusgröße* | $t_{28} = -2.90$ | $< .01$ | $\hat{d} = -1.79$ |
| | *Systematik* | $t_{28} = 1.87$ | .04 | $\hat{d} = .60$ |

## 9.6 Analyse III - Akkommodation an den *Stimuluskontrast* der inkonsistenten Patienten (individuelle Analysen)

Ziel dieser Analyse war es, Patienten zu identifizieren, welche ähnliche Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast* zeigten wie einer der beiden Skotomgruppen des Experiments 1 (*CVB* bzw. *CVL*). Dafür wurden die individuellen Daten der Patienten geprüft, welche bzgl. der Ausprägung ihres zSV nicht denen der simulierten Skotome entsprachen. Anschließend wurde äquivalent zu Analyse II exploriert, zu welcher Skotomgruppe (*CVB* oder *CVL*) sie sich zuordnen lassen.
Das Design, die abhängigen Variablen sowie die Analysemethoden entsprachen der Analyse II. Da diese Analyse explorativ war, gab es keine Hypothesen.

### 9.6.1 Ergebnisse

#### Akkommodationsmuster

In Abbildung 9.6 (S. 189) sind die Ergebnisse illustriert. Alle Patienten suchten *ineffizienter* und *unsystematischer*, wenn der *Stimuluskontrast* sank. Nur bei einem Patienten konnte ein signifikanter Anstieg der *Fokusgröße* nachgewiesen werden (P8: $t_{14}$ = -2.34, $p$ = .02, $\hat{d}$ = -1.17). Für die anderen Patienten konnten keine Veränderung der *Fokusgröße* mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* beobachtet werden.

#### Zuordnung

Wie man der Abbildung 9.7 (S. 190) entnehmen kann, wurde anhand der alterskorrigierten *Fokusgrößen* ein Patient (P8) der *CVL* Gruppe zugewiesen. Alle anderen Patienten wurden zu der *CVB* Gruppe klassifiziert.

### 9.6.2 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Ein Patient (P8) wies ein ähnliches Akkommodationsmuster wie die *CVL* Probanden des ersten Experiments auf und wurde dieser Gruppe ebenso anhand der alterskorrigierten *Fokusgröße* zugeordnet. Die ophthalmologischen Ergebnisse zeigen, dass er zwar nur auf einem Auge ein opakes Skotom aufwies und exzentrisch fixierte, allerdings bereits auf beiden Augen einen starken Visusverlust aufwies. Diese ophthalmologischen Charakteristika wiesen auch andere Patienten auf (z.B. P10). Diese und alle anderen Patienten wurden aber der *CVB* Gruppe zugeordnet.

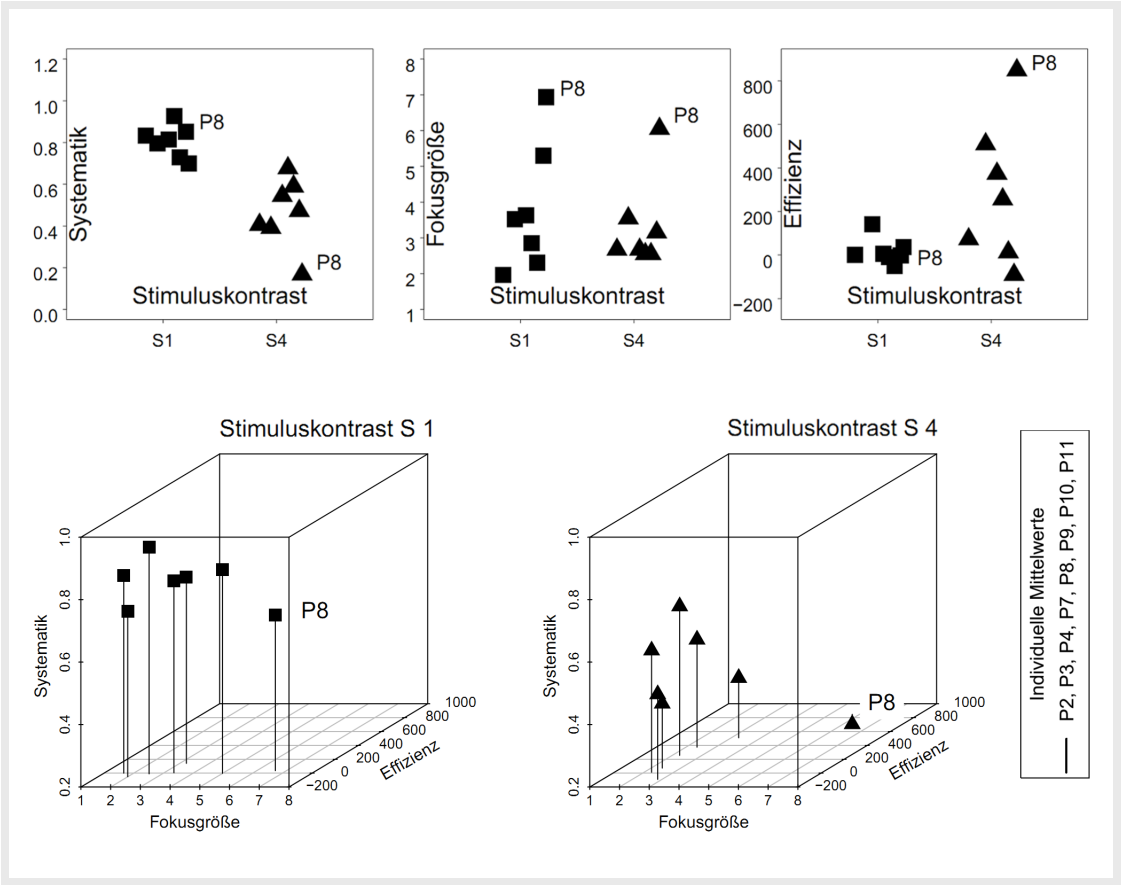



**Abbildung 9.6.:** Diese Abbildung ähnelt Abbildung 9.3 (S. 184). Sie illustriert aber die individuellen Daten der inkonsistenten Patienten (schwarz: P2, P3, P4, P7, P8, P9, P10 sowie P11). Jeder Kubus repräsentiert eine *Stimuluskontraststufe*. Die Abbildungen über den Kuben repräsentieren die drei Variablen einzeln. Die Datenpunkte sind horizontal leicht versetzt.

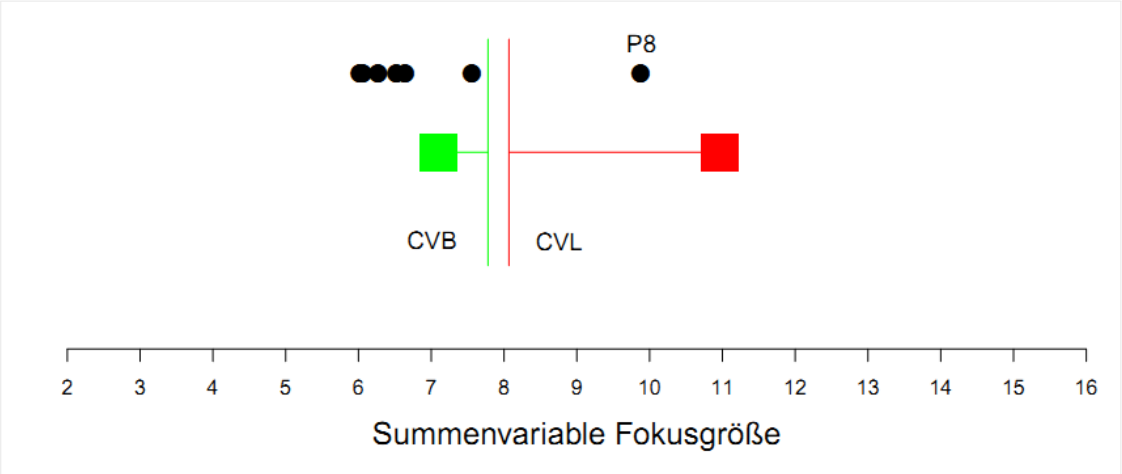



**Abbildung 9.7.:** Diese Abbildung ist ähnlich der Abbildung 9.5 (S. 186) mit dem Unterschied, dass hier die Patienten (schwarze Punkte) dargestellt sind, zu denen es aufgrund der ophthalmologischen Charakteristik keine Vorhersagen gab. Nur P8 wurde der *CVB* Gruppe des Experiments 1 zu geordnet.

## 9.7 Diskussion

### 9.7.1 Hintergrund

Nachdem die Sakkadenamplituden des Experiments mit simulierten Skotomen (Experiment 1) auch bei einem sinkenden *Stimuluskontrast* bei den Probanden mit einem opaken Skotom (*CVL* Gruppe) konstant groß blieben (*Gradientenhypothese*), wurde mit dem vorliegenden Experiment 3 die Frage adressiert, inwiefern sich die Ergebnisse der Simulationsstudie auf natürlich entstandene Zentralskotome übertragen lassen.
Dafür wurde ein ähnliches visuelles Suchexperiment (offene Suche; vgl. Abschnitt 5.1, S. 58) wie in Experiment 1 durchgeführt. Es wurden zwei Stufen des *Stimuluskontrastes* sowie der *Objektanzahl* (vier und acht Objekte) variiert. Die Suchmuster wurden durch die Variablen *Effizienz* (Reaktionszeitanstiege), *Fokusgröße* (Sakkadenamplituden) sowie der *Systematik* (Mehrfachfixierungen) charakterisiert. Ältere (ab 50 Jahren), hinsichtlich der Augen gesunde Probanden dienten als Kontrollgruppe (*AMD0*).

Des Weiteren war eine Untersuchung von AMD Patienten in verschiedenen Stadien der Erkrankung (vgl. Kapitel 2) geplant, die im Wesentlichen zwei Kriterien erfüllen sollte: Der zSV sollte auf beiden Augen gleich stark ausgeprägt sein. Außerdem sollten zwei Gruppen unterschieden werden, wobei eine Gruppe einen semi-opaken zSV und die andere einen opaken zSV aufweisen sollte. Mit anderen Worten, kamen neben den allgemeinen Schwierigkeiten, die man bei einer solchen Untersuchung mit AMD Patienten hat (vgl.

Abschnitt 9.2, S. 163), zwei spezifische Anforderungen hinzu, die für die Beantwortung der Fragestellung der vorliegenden Arbeit zentral waren. Diese spezifischen Kriterien wurden bedauerlicherweise lediglich von fünf Patienten erfüllt (P1, P5, P6, P12 und P13). Dabei fielen P1, P5, und P6 am ehesten in die Gruppe mit einem semi-opaken Sehverlust, da das zentrale Sehen auf beiden Augen eingeschränkt war, die Fixation aber *noch* zentral war. P12 und P13 wiesen einen binokularen opaken zSV auf. Mit anderen Worten sind lediglich diese fünf Patienten mit den simulierten Skotomgruppen aus Experiment 1 vergleichbar gewesen. Da die Patientenstichprobe nicht den Kriterien genügte, die zu vergleichbaren Stichproben zu Experiment 1 geführt hätten, musste die Analyse der Daten angepasst werden. Die Patienten wurden nicht wie geplant in zwei Gruppen (semi-opakes Skotom, opakes Skotom) eingeteilt, sondern einzeln betrachtet. Damit zusammenhängend wurden die Fragestellung sowie die Auswertungsstrategie entsprechend angepasst. Auf der Basis der individuellen Patientendaten wurden zwei Fragestellungen verfolgt (A und B). Darüber hinaus wurden mit Hilfe der Kontrollprobanden die Effekte des Alters kontrolliert.

A Führen natürlich entstandene Skotome zu ähnlichen Veränderungen der Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus wie die simulierten Skotome in Experiment 1?

B Welche natürlich entstandene Skotome entsprechen in ihren Auswirkungen auf visuelle Suchmuster jenen der simulierten Skotome in Experiment 1?

Um die Fragestellung A zu beantworten, wurde das individuelle Suchverhalten der Patienten P1, P5, P6 mit den Ergebnissen der *CVB* Gruppe (binokulare semi-opake Skotome) und jene der Patienten P12, P13 mit den Resultaten der *CVL* Gruppe (binokulare opake Skotome) verglichen.
Um die Fragestellung B zu beantworten, wurden die restlichen Patienten betrachtet. Zunächst wurden ungeachtet ihrer ophthalmologischen Charakteristika die Suchmuster exploriert und untersucht, zu welchen Ergebnissen der simulierten Skotomgruppen des ersten Experiments sie passen.
Die Kontrollprobanden wurden zu einer Gruppe zusammengefasst (*AMD0*) und mit den Resultaten der *NVL* Gruppe, der Kontrollgruppe des Experiments 1, verglichen. Damit sollten die Effekte des Alters identifiziert und gegebenenfalls kontrolliert werden.

### 9.7.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Für die Kontrollprobanden (*AMD0*) wurde das typische Suchmuster beobachtet. Mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* wurde die Suche *ineffizienter* und *unsystematischer*. Außerdem wurden die *Fokusgrößen* kleiner. Es kann also zunächst festgehalten werden, dass das vorliegende Experiment in der Lage war, typische Suchmuster in einer Merkmalssuche auch bei einer älteren Stichprobe zu erzeugen. Darüber hinaus konnten die erwarteten Effekte des Alters beobachtet werden (für die *Effizienz* deskriptiv).
Die Patienten mit einem natürlichen binokularen opaken zSV präsentierten ähnliche Akkommodationmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast* wie die jüngeren Probanden aus Experiment 1, die mit einem simulierten binokularen opaken Skotom (*CVL*) suchten. Anhand der alterskorrigierten *Fokusgröße* wurden sie diesen darüber hinaus korrekt zugeordnet. Die Akkommodationsmuster der Patienten mit einem natürlichen binokularen semi-opaken zSV waren indes nicht so eindeutig. Während die Akkommodation der *Effizienz* und der *Systematik* erwartungskonform verlief, konnte keine Verkleinerung der *Fokusgröße* mit sinkendem *Stimuluskontrast* beobachtet werden. Das könnte an der altersbedingten Verkleinerung der Sakkadenamplituden (hier Korrelat der *Fokusgröße*) gelegen haben, welche ein zusätzliches Absinken mit sinkendem *Stimuluskontrast* verhindert haben könnte. Nach der Korrektur des Alters konnten P1, P5 sowie P6 anhand der *Fokusgröße* den jüngeren Probanden aus Experiment 1, die mit einem simulierten binokularen semi-opaken Skotom (*CVB*) suchten, zugeordnet werden.
Ein Patient (P8) wies ein ähnliches Akkommodationsmuster wie die *CVL* Probanden des ersten Experiments auf und wurde dieser Gruppe ebenso anhand der alterskorrigierten *Fokusgrößen* zugeordnet. Interessanterweise zeigten die ophthalmologischen Ergebnisse, dass sein Sehen durch ein opakes Skotom auf *nur* einem Auge eingeschränkt war, allerdings wies er bereits auf beiden Augen einen starken Visusverlust auf. Alle anderen Patienten wurden der *CVB* Gruppe zugeordnet und zeigten kaum Veränderungen bzgl. der *Fokusgröße* mit einem sinkenden *Stimuluskontrast*.

### 9.7.3 Einordnung in bisherige Befunde

#### Vergleich mit den Befunden des Experiments 1

Die jeweiligen Kontrollgruppen verhielten sich recht ähnlich. Auch wenn die älteren Probanden quantitativ andere Werte aufwiesen, zeigten sie ähnliche Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast*. Die quantitativen Unterschiede wurden als Effekt des Alters interpretiert.
Auf Grund der Patientenstichprobe konnte eine analoge Auswertung zu Experiment 1 für die Patienten nicht erfolgen. Festgestellt werden konnte dennoch, dass AMD Patienten,

die einen binokularen opaken zSV aufwiesen, ähnliche Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast* zeigten wie die Probanden mit einem simulierten binokularen opaken zSV. Insbesondere die steigende *Fokusgröße* war ein Indiz dafür, dass auch ein natürlich entstandener opaker zSV zu jenen Veränderungen führt, die durch die *Gradientenhypothese* vorhergesagt worden waren.
Ein Übertrag der Ergebnisse des Experiments 1 auf natürlich entstandene Zentralskotome wird hier dennoch nicht empfohlen. Neben den Schwierigkeiten, welche die Patientenstichprobe mit sich brachte, ist insbesondere die Güte der Augenbewegungsmessung in Frage zu stellen (instabiles Blickverhalten von AMD Patienten beschrieben in Kapitel 3). Folglich sollten die daraus resultierenden Parameter (z.B. die Sakkaddenamplitude) nur mit größter Vorsicht interpretiert werden. Auch Schlussfolgerungen über entsprechende Korrelate kognitiver Prozesse (z.B. Aufmerksamkeitsfokus) sind demnach nur eingeschränkt möglich.

### Andere relevante Bezüge zur bestehenden Literatur

Kontroverse Ergebnisse vieler bereits vormals berichteten Studien könnten auf eine fehlende Differenzierung zwischen verschiedenen Schweregraden zentraler Skotome zurückzuführen sein. Beispielsweise wurden bezüglich der Sakkadenamplituden divergierende Anpassungen berichtet. Einige berichteten kleinere Amplituden für Probanden mit zSV (Bullimore & Bailey, 1995; Knoblauch et al., 2001). Andere fanden im Gegensatz dazu größere Amplituden in der visuellen Suche (Cornelissen et al., 2005; Whittaker et al., 1991) oder beim Lesen (Macedo et al., 2011). Die Ergebnisse des Experiments 1 der *CVB* Gruppe bestätigten den erst genannten und die Resultate der *CVL* Gruppe den zuletzt genannten Befund. Auch die Patientendaten wiesen darauf hin, dass der Fortschritt der Degeneration einen entscheiden Einfluss auf diese Variable haben könnte.
Kontroverse Befunde wurden auch hinsichtlich der Fähigkeit von AMD Patienten berichtet, mehrere Items mit einem Blick wahrzunehmen (*parallele* Suche). Während sich Knoblauch et al. (2001) dagegen aussprachen, argumentierten Kuyk et al. (2005), dass AMD Patienten zumindest eine *pseudo-parallele* Suche durchführen können. Die hier berichteten Ergebnisse unterstützen die zuletzt genannte Behauptung. Die Reaktionszeitanstiege beider Patientengruppen deuten zumindest in der hohen Stimuluskontrastbedingung (*S 1*) eine (teil-) *parallele* Suche (im Sinne von Wolfe, 1994) an (Patienten: 10.37). Die hier vorliegenden Ergebnisse zeigten aber nicht nur, dass AMD Patienten in der Lage sind, mehrere Items mit einem Blick zu erfassen, sie deuteten darüber hinaus an, dass zumindest Probanden mit binokularem opaken Skotom auf diese Fähigkeit angewiesen sein könnten.

### 9.7.4 Erklärung der Reaktionszeitanstiege

Sowohl Kontrollprobanden als auch die Patienten zeigten höhere Reaktionszeitanstiege mit abnehmendem *Stimuluskontrast*. Klassisch wird ein solches Suchverhalten als *seriell* bzw. *ineffizient* beschrieben (Treisman & Gelade, 1980). Welche Strategie die Wahrnehmenden anwenden (z.B. Variation der Größe oder Verweildauer der Suchschritte), ist durch dieses Maß allerdings nicht näher zu bestimmen. Die hier vorgestellten Analysen zeigten, dass sowohl die älteren Kontrollprobanden als auch die AMD Patienten häufiger Mehrfachfixierungen durchführten. Die Größe der Suchschritte wurde hingegen unterschiedlich angepasst. Die Kontrollprobanden verkleinerten die Suchschritte, wenn der *Stimuluskontrast* geringer wurde, bei den Patienten hingegen blieben sie entweder konstant oder vergrößerten sich. Der Anstieg der Reaktionszeiten scheint hier im Wesentlichen also darauf zurückzuführen sein, dass mehr Suchschritte benötigt wurden, um eine Entscheidung zu treffen.[9] Individuell verschieden scheint dagegen die Größe der Suchschritte angepasst zu werden. Inwiefern diese Unterschiede mit dem Fortschritt der Krankheit und damit mit dem Bedürfnis zusammenhängen, einen peripheren Bereich oder so viele periphere Bereiche wie möglich für die Zielreizfindung zu nutzen, ist aus den Daten des Experiments 3 nicht eindeutig zu beantworten (siehe unten).

### 9.7.5 Offene Fragen

Auch wenn die Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung länger mit ihrem zSV konfrontiert waren als Probanden in Experiment 1, ist ein solches experimentelles Setting für sie auch neu. Daher stellt sich auch hier die Frage, ob die Ergebnisse eine kurzfristige Akkommodation an eine ungewohnte Sehsituation sind. Ungewohnt war für sie nicht die Seheinschränkung, sondern die Untersuchungssituation. Eine Untersuchung in einer für die Patienten gewohnten Umgebung wäre demzufolge wünschenswert, konnte hier allerdings nicht umgesetzt werden.

Eine zweite Frage, welche sich stellt, ist inwiefern die Ergebnisse von der Fixationsstabilität der Patienten abhängen. Hat die Anzahl und die Stabilität ausgebildeter PRLs einen Einfluss auf die Verteilung visueller Aufmerksamkeit? Vor dem Hintergrund der Schwierigkeiten bei der Blickbewegungsmessung von AMD Patienten (ausgelöst durch die hohe Fixationsinstabilität) ist damit zusammenhängend auch hier fraglich, inwiefern die Sakkadenamplituden indikativ für den Aufmerksamkeitsfokus sind. Eine Untersuchung

[9] Die Anzahl an Fixationen stieg bei Kontrollprobanden und Patienten mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* an. Die Fixationsdauer war über alle Stufen des *Stimuluskontrastes* konstant. Die Ergebnisse für diese Variablen werden hier nicht genauer vorgestellt.

entsprechend des Experiments 2, bei dem die Augenbewegungen und die attentionalen Prozesse getrennt voneinander beurteilt werden können, bietet das nachfolgende Experiment (vgl. Kapitel 10).

Drittens war zu beobachten, dass Probanden mit opaken zSV auf beiden Augen, andere Ergebnisse präsentierten als Patienten, die eine solchen zSV auf einem Auge aufwiesen. Obschon die Anzahl solcher Patienten in der vorliegenden Untersuchung gering war, weisen sie darauf hin, dass Schlussfolgerungen monokularer augenärztlicher Untersuchungen auf binokulare alltägliche Sehsituationen kritisch zu bewerten sind (ausführliche Diskussion siehe Abschnitt 3.3, S. 39).

Viertens konnte mit dem hier durchgeführten Experiment die Größe des Aufmerksamkeitsfokus erschlossen werden, nicht aber welche Größe optimal gewesen wäre, um so erfolgreich wie möglich zu suchen. Auf der einen Seite könnte es sein, dass die Patienten, die mit einem großen Fokus suchten, besser abgeschnitten hätten, wenn sie den Fokus kleiner gestellt hätten. Auf der anderen Seite könnte es ebenso zutreffen, dass sie die Suchaufgabe dann noch schlechter absolviert hätten. Die Frage nach Kosten und Nutzen weit akkommodierter Fokusgrößen wird in der Gesamtdiskussion ausführlicher behandelt (Abschnitt 11.7.3, S. 239).

Fünftens sind die Zuordnungsregeln für die Klassifikation anhand der alters-korrigierten *Fokusgrößen* kritisch zu betrachten. Auch wenn die Klassen disjunkt voneinander sind, liegen die Grenzen so nah beieinander, dass fast jeder mögliche Datenpunkt zu einer der beiden Skotomgruppen (*CVB* oder *CVL*) zugeordnet wird. Eine Zuordnung zu einer eventuell hier nicht bedachten dritten Gruppen würde so also nicht aufgedeckt werden können. Gerade die Patienten, welche an den jeweils angegeben Grenzen liegen, sind demnach kritisch zu betrachten (P5, P6 sowie P13).

## 9.8 Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung

Patienten (P12, P13), die ophthalmologisch ähnliche Auswirkungen eines zSV präsentierten wie die *CVL* Skotomgruppe aus Experiment 1, zeigten Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast* wie sie von der *Gradientenhypothese* vorhergesagt worden waren. Insbesondere die konstant großen *Fokusgrößen* und damit zusammenhängend die Zuordnung zu der *CVL* Gruppe aufgrund der alters-korrigierten *Fokusgröße* geben einen Hinweis darauf, dass alle retinal intakten (hier peripheren) Areale für eine Targetentdeckung genutzt werden. Auch die anderen zu Experiment 1 konsistenten Patienten

wurden korrekt zugeordnet, wenngleich die Akkommodationsmuster (vor allem die *Fokusgröße*) nicht so eindeutig ausfielen. Deswegen und aufgrund der geringen Patientenanzahl konnte die Fragestellung A nicht eindeutig beantwortet werden.
Rückschlüsse auf ophthalmologische Besonderheiten aufgrund von visuellen Suchmustern (Fragestellung B) konnten hier nicht gezogen werden. Ein Patient wurde aufgrund seines Akkommodationsmusters und vor allem wegen seiner Anpassung der *Fokusgröße* an einen sinkenden *Stimuluskontrast* der *CVL* Gruppe des ersten Experiments zugeordnet. Dieser Patient zeigte ein monokulares opakes Skotom, aber einen Verlust des Visus auf beiden Augen. Es gab allerdings Patienten, die ähnliche ophthalmologische Charakterisitika aufwiesen und ein anderes Akkommodationsmuster zeigten (z.B. P10). Da die Mehrheit der Patienten, die hinsichtlich ihrer Ausprägung des zSV nicht ähnlich zu den Probanden mit den simulierten Skotomen des ersten Experiments waren, können die Annahmen der *Gradientenhypothese* nicht auf andere ophthalmologische Phänomenologien zentraler Sehverluste übertragen werden. Insbesondere das Kriterium eines beidäugig ähnlich ausgeprägten zSV scheint entscheidend zu sein.

**Abkürzungen**

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

AMD0: Kontrollprobanden ohne Skotom

CVB: semi-opakes Skotom; central vision blur

CVL: opakes Skotom; central vision loss

KW: Kreiswinkel

NVL: kein Skotom; no central vision loss

M: Mittelwert

PRL: *preferred retinal locus*

S 1: Stimuluskontraststufe eins

S 2: Stimuluskontraststufe zwei

S 3: Stimuluskontraststufe drei

S 4: Stimuluskontraststufe vier

SD: Standardabweichung

zSV: zentraler Sehverlust

# 10
# Experiment 4


**Zusammenfassung**

**Hintergrund** Die Interpretation der Augenbewegungsdaten sowie die Zusammensetzung der Patientenstichprobe in Experiment 3 war problematisch, so dass Schlussfolgerungen bezüglich veränderter Aufmerksamkeitsprozesse lediglich mit erheblichen Vorbehalten getroffen werden konnten. In Experiment 4 wurden daher einerseits Aufmerksamkeitsprozesse ohne Augenbewegungen abgebildet. Andererseits wurden hinsichtlich der Zentralskotome unimorphe Patienten untersucht.

**Methode** In einem *Useful Field of View* (UFOV) - Paradigma konnte der Zielreiz an acht verschiedenen Positionen (*Targetposition*) erscheinen. Dabei wurden die *Exzentrizität* des Bereichs, in dem das Target erscheinen konnte, in zwei Stufen variiert (zentral versus exzentrisch). Es wurden AMD Patienten, welche ein opakes Skotom auf beiden Augen (*AMD2*) aufwiesen, mit alterskorrelierten gesunden Probanden (*AMD0*) verglichen.

**Ergebnisse** Die Patienten (*AMD2*) zeigten gleiche Trefferquoten unabhängig von der *Exzentrizität* der Reizdarbietung. Die Kontrollprobanden (*AMD0*) wiesen hingegen bessere Leistungen an zentraleren gegenüber exzentrischeren Targetpositionen auf.

**Diskussion** Die gleiche Trefferquote der Patienten (*AMD2*) in beiden Stufen der *Exzentrizität* könnte ein Zeichen für einen weiten Aufmerksamkeitsfokus sein und damit die Annahmen der *Gradientenhypothese* unterstützen, das heißt klinisch validieren.

**Ausblick** Experiment 4 lieferte einige empirische Indizien dafür, dass die Annahmen der *Gradientenhypothese* ebenso bei natürlich entstandenen zentralen Skotomen zutreffen. Ob eine Weitstellung des Aufmerksamkeitsfokus tatsächlich bonadaptiv für AMD Patienten ist, sollte in einer zukünftigen Forschungsarbeit näher untersucht werden.

**Schlüsselwörter**

AMD Patienten, Aufmerksamkeitsfokus, *UFOV*

## 10.1 Hintergrund

Die Ergebnisse des Experiments 3 fielen uneinheitlich aus, so dass eine Schlussfolgerung bezüglich adaptiver Aufmerksamkeitsprozesse bei AMD Patienten nur für einzelne Patienten möglich war. Es gab zwei wesentliche Kritikpunkte: (i) Die Blickbewegungsmessung mit den AMD Patienten gestaltete sich aufgrund einer hohen Fixationsinstabilität als schwieirig. Eine Interpretation der Sakkadenmuster bezüglich zugrunde liegender Aufmerksamkeitsprozesse konnte daher nur mit Einschränkungen vorgenommen werden. (ii) Die Zusammensetzung der Patientenstichprobe war hinsichtlich der klinischen Merkmale polymorph. Dies spiegelte sich gleichfalls in den Ergebnissen wider. Die Patienten, welche ein opakes Skotom auf beiden Seiten aufwiesen, bestätigten die Ergebnisse der simulierten opaken Skotomgruppe von Experiment 1. Dies traf beispielsweise nicht für Patienten zu, welche ein opakes Skotom nur auf einem Auge aufwiesen (mit einer Ausnahme). Um die zentrale Fragestellung dieser Arbeit auch an Patienten mit einem natürlich entstandenen zentralen Sehverlust (zSV) zu untersuchen, wurde Experiment 4 (i) ohne Augenbewegungen sowie (ii) mit einer einheitlichen Patientenstichprobe durchgeführt. Damit ist Experiment 4 als Übertrag von Experiment 2 auf Patienten mit einem natürlich entstandenen zSV zu verstehen.

### 10.1.1 Das *UFOV*-Paradigma

Eine Vorstudie im Rahmen dieser Arbeit ergab, dass das *single fixation paradigm* (*SFP*), welches in Experiment 2 verwendet worden war, zu komplex für die hier untersuchten, hinsichtlich ihrer Augenschädigung recht fortgeschritten Patienten war. Daher wurde ein Paradigma gewählt, dass dem *SFP* so ähnlich wie möglich ist und lösbar für die hier untersuchten Patienten war.
Das *Useful Field of View* (UVOF) - Paradigma wurde von Ball, Beard, Roenker, Miller und Griggs (1988) zum ersten Mal verwendet. Ziel ist es, den visuellen Bereich zu identifizieren, in dem ein Beobachter Informationen gewinnen kann, ohne die Augen zu bewegen. In der Regel werden Reize in verschiedenen Exzentrizitäten dargeboten und sowohl die Reaktionszeit als auch der Anteil der Fehler bei der Zielreizentdeckung ausgewertet. Die Grundbefunde zeigen, dass zentraler dargebotene Reize besser erkannt werden als weiter exzentrisch präsentierte. Außerdem weisen ältere Probanden gegenüber jüngeren einen kleineren Bereich auf, in dem sie Zielreize erkennen. Das Paradigma wurde meines Wissens nur selten mit Probanden oder Patienten, welche einen zSV aufweisen, durchgeführt (Alberti, Horowitz, Bronstad & Bowers, 2014; Coeckelbergh et al., 2002). Coeckelbergh et al. (2002) berichteten die Ergebnisse nicht detailliert, sondern brachten den Gesamtwert nur in Verbindung mit der Leistung in einem Mobilitätstests. Auch Alberti et al. (2014)

stellten die Ergebnisse nicht detailliert dar, sondern verglichen lediglich die Gesamtleistung der Probanden mit zSV mit gesunden Kontrollprobanden und stellten fest, dass Probanden mit zSV schlechter in der *UFOV*-Aufgabe abschnitten. Detaillierte Analysen bezüglich der Leistung in verschiedene Exzentrizitäten wurden demnach bisher nicht angeboten. Sie könnten allerdings Aufschluss über adaptive Aufmerksamkeitsprozesse geben. Wie in Abschnitt 6.2.2 (S. 76) dargestellt, können experimentelle Bedingungen, in denen Reize an unterschiedlichen Exzentrizitäten präsentiert werden, für eine Größenschätzung des Aufmerksamkeitsfokus genutzt werden. Wenn die Vorhersagen der *Gradientenhypothese* zutreffen sollten, sollten Probanden mit opakem zSV bessere Erkennungsleistung für weiter exzentrisch dargebotene Reize in einer *UFOV*-Aufgabe zeigen als für zentraler präsentierte. Das umgekehrte Muster sollte für normalsichtige Kontrollprobanden beobachtbar sein. Eine Veränderung der Größe des Aufmerksamkeitsfokus sollte sich in einem *UFOV*-Experiment demnach durch unterschiedliche Verteilungen korrekter Antworten bei Probanden mit unterschiedlich stark ausgeprägten zSV äußern.

## 10.2 Exposé des Experiments 4

### 10.2.1 Fragestellung

In Experiment 4 konzentrierte sich die Forschungsfrage auf den folgenden Aspekt:

> Führt ein opakes natürliches Zentralskotom bei Abwesenheit von Augenbewegungen zu einer Weitstellung des Aufmerksamkeitsfokus?

Mit dem Ziel veränderte Aufmerksamkeitsprozesse von den kontroversen Ergebnissen des vorangegangen Experiments zu differenzieren sowie die Ergebnisse des Experiments 2 auf Patienten mit natürlich entstandenen zSV zu übertragen, wurden die folgenden Kernpunkte realisiert. Die Tabelle 10.1 (S.204) gibt einen Überblick über Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Experiment 2 und Experiment 4.

(i) Es wurde das oben beschriebene *UVOF*-Paradigma (Ball et al., 1988) verwendet, um die Erkennungsleistung von Reizen in unterschiedlichen Exzentrizitäten als Maß für die Größe des Aufmerksamkeitsfokus heranzuziehen und nicht wie zuvor einen Augenbewegungsparameter (Sakkadenamplituden). Ähnlich wie in Experiment 2 (Kapitel 8) wurde die maximale Reizdarbietungszeit auf 200 ms festgelegt, um Augenbewegungen gänzlich auszuschließen (verdeckte Suche; vgl. Abschnitt 5.1, S. 58). Eine direkte Manipulation in Anlehnung an Experiment 2 war hier leider nicht ohne weiteres möglich. Es wurde versucht, das Experiment so einfach wie möglich zu gestalten, da die Patienten visuell bereits sehr eingeschränkt waren. Dies hatte einerseits zur Folge, dass ein anderes Paradigma mit einfacher zu diskriminierenden Reizen verwendet wurde (keine Buchstaben wie in Experiment 2). Andererseits wurden keine Hinweisreize dargeboten (Faktor *Fokuscue* in Experiment 2), die angaben, in welchem Bereich ein Zielreiz in dem nachfolgenden Durchgang erscheinen konnte. Wie in Experiment 2 wurden Zielreize zentraler oder exzentrischer dargeboten und die Größe des Aufmerksamkeitsfokus indirekt abgelesen. Wenn an exzentrischen Positionen eine vergleichbare Zielreizentdeckung wie an zentralen Positionen vorlag oder sie besser an exzentrischen als an zentralen Positionen war[1], wurde auf eine große Fokusgröße geschlossen. Wenn die Erkennungsleistung an zentralen Positionen besser als an exzentrischen Positionen war, wurde auf eine kleine Fokusgröße geschlossen.

(ii) In Experiment 4 wurden nur AMD Patienten untersucht, die auf beiden Augen ein opakes Zentralskotom aufwiesen. Darüber hinaus nahmen nur Probanden teil, die vorher ein Fixationstraining[2] absolviert hatten und damit eine stabile Fixation mit einer Pseudofovea (stabile alternative exzentrische Fixation, vgl. Tabelle 3.2.1, S. 29) aufwiesen. Ziel war es einerseits, die Variabilität der Patientenstichprobe zu reduzieren und andererseits die Äquivalenz zu der Skotomgruppe (*CVL*) zu erhöhen, bei der ein opakes Zentralskotom auf beiden Augen simuliert wurde.

(iii) Die Präsentation der Reize wurde an die individuelle Sehsituation der Patientengruppe angepasst. Der Fixationspunkt und damit Mittelpunkt des Reizdisplays wurde in die Pseudofovea der Patienten verschoben. Es sollte gewährleistet werden, dass die Patienten einen Großteil des Reizdisplays trotz der Zentralskotome wahrnehmen können. Jedem Probanden wurde entsprechend ein Kontrollproband zugeordnet, der die gleiche Konfiguration dargeboten bekam (vgl. Abbildung 10.2, S. 209, untere Reihe). Damit lagen hier abhängige Stichproben vor.

[1] In Anlehnung an die Diskussion in Abschnitt 6.2.2 (S. 76) wurde hier ein uniformer Fokus angenommen.
[2] Die Patienten nahmen an einer größer angelegten Studie teil (Plank et al., 2013).

(iv) Da die Bestimmung einer Pseudofovea lediglich monokular erfolgen kann, wurde die Untersuchung monokular durchgeführt.

### 10.2.2 Erwartungen

In Anlehnung an die Ergebnisse von Müller-Plath und Elsner (2007) nehme ich an, dass die Kontrollgruppe eine höhere Erkennungsleistung für zentrale Zielreize verglichen mit exzentrischen Zielreizen aufweist. Im Gegensatz dazu vermute ich aufgrund der *Gradientenhypothese* und der Ergebnisse aus Experiment 2, dass sich ein anderes Muster in der Patientengruppe zeigt. Hier sollte die Erkennungsleistung zentraler und exzentrischer Zielpositionen eine vergleichbare Höhe aufweisen.[3]

## 10.3 Methode

### 10.3.1 Probanden

Sieben AMD Patienten mit opakem Zentralskotom (*AMD2*, mittleres Alter: 72 Jahre; Spanne: 60 bis 84 Jahre; vier Männer) wurden untersucht. Ein Proband war nicht in der Lage die Aufgabe zu lösen, so dass die Auswertung auf den restlichen sechs Patienten beruhte (mittleres Alter: 73 Jahre; Spanne: 60 bis 84 Jahre; drei Männer). Alle Patienten hatten zuvor ein Fixationstraining (Details in Plank et al., 2013) absolviert und wiesen eine stabile Fixation mit einem retinal peripheren Ort (Pseudofovea) auf. Am Testtag wurde jener retinaler Ort noch einmal überprüft. Die Patienten wurden mit sechs Kontrollprobanden verglichen, welche die Aufgabe ohne zentrale Sichteinschränkung absolvierten (*AMD0*, mittleres Alter: 73 Jahre; Spanne: 60 bis 84 Jahre; drei Männer). Alle Teilnehmer erhielten Geld für die Partizipation an dem Experiment.

[3] Hier wurden ähnlich gute Leistungen an zentraleren und exzentrischeren Zielreizpostionen erwartet, da zentral das Displayzentrum für die Patienten nicht foveal, sondern pseudofoveal präsentiert wurde. Damit sollten auch die zentraleren Reize außerhalb des Zentralskotoms sichtbar gewesen sein.

**Tabelle 10.1.:**
Übersicht über Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Experiment 2 und 4

| Kriterium | Experiment 2 | Experiment 4 |
|---|---|---|
| Paradigma | *single fixation* | *useful field of view* |
| relevante UVs | Targetposition: TPOS 1 & TPOS 2 | Exzentrizität: E 1 & E 2 |
| | Gruppe: NVL, CVB, CVL | Gruppe: AMD0, AMD2 |
| | Targetpräsenz: ja & nein (aufrechtes L) | Targetidentität: TI 1 (heller Punkt) & TI 2 (dunkeler Punkt) |
| | Stimuluskontrast: S 1 & S 2 | |
| | Fokuscue: FCUE 1 & FCUE 2 | |
| AVs | relativer Anteil korrekter Antworten | relativer Anteil korrekter Antworten |
| Fragestellung | Führt ein opakes, simuliertes Zentralskotom auch bei Abwesenheit von Augenbewegungen zu einer Weitstellung des Aufmerksamkeitsfous? | Führt ein opakes natürliches Zentralskotom bei Abwesenheit von Augenbewegungen zu einer Weitstellung des Aufmerksamkeitsfokus? |
| Analyse | Gruppenvergleiche, individuelle Datenanalyse | Gruppenvergleiche, individuelle Datenanalyse |

*NVL*: Kontrollgruppe Experiment 2, *CVB*, *CVL*: Skotomgruppen Experiment 2
*AMD0*: Kontrollgruppe Experiment 4, *AMD2*: Skotomgruppe Experiment 4

### Zusammensetzung der Patienten- und Kontrollstichprobe

Tabelle 9.1 (S. 167) zeigt die ophthalmologischen Charakteristika der Kontrollprobanden und Patienten. Ein Ziel der Untersuchung war es, die Ergebnisse mit Experiment 2 zu vergleichen. Daher wurden AMD Patienten in einem fortgeschrittenen Stadium mit opaken Skotomen auf beiden Augen untersucht. Eine Patientengruppe äquivalent zu der simulierten Gruppen mit semi-opakem zSV gab es in dieser Untersuchung nicht, da das vorangegangene Patientenexperiment gezeigt hatte, dass die Variabilität der ophthalmologischen Ausprägungen in der Frühphase der AMD (vgl. Kapitel 2) zu groß ist. Die Kontrollprobanden wurden so gewählt, dass sie hinsichtlich des Alters und des Geschlechts den Patientenstichproben entsprachen.

**Tabelle 10.2.:**
Ophthalmologische Charakteristika

| | | | | Pseudofovea[a] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GR | KD | Geschlecht | Alter | h | v | Skotomgröße[b] |
| AMD0 | K1 | w | 70 | 0 | 0 | 0 |
| | K2 | w | 74 | 0 | 0 | 0 |
| | K3 | w | 73 | 0 | 0 | 0 |
| | K4 | m | 72 | 0 | 0 | 0 |
| | K5 | m | 67 | 0 | 0 | 0 |
| | K6 | m | 61 | 0 | 0 | 0 |
| AMD2 | P1 | w | 72 | 5.0 | 0 | 10 |
| | P2 | w | 84 | 0 | -9.15 | 10 |
| | P3 | w | 75 | 0 | -9.15 | 15 |
| | P4 | m | 81 | -5.80 | 2.90 | 10 |
| | P5 | m | 60 | -12.78 | -.37 | 20 |
| | P6 | m | 66 | -3.81 | -1.53 | 25 |

GR: Gruppe; KD: Kodierung; [a] retinale Postionen der Pseudofovea im Studienauge in Grad visueller Sehwinkel (h: horizontal; v: vertikal); [b] Durchmesser des Zentralskotoms in Grad visueller Sehwinkel

### 10.3.2 Apparatur

Die Reize wurden mit Python (http://www.python.org/) auf einem Laptopmonitor mit einer Breite von 370 mm und einer Höhe von 235 mm sowie einer Bildwiederholungsfrequenz von 60 Hz und einer Auflösung von 1440 × 900 px erzeugt. Die Kopfposition der Probanden wurde mit einer Kinnstütze in einem Abstand von 600 mm zum Monitor gefestigt. Die Probanden antworteten mit ihren Zeige- und Mittelfingern auf der linken oder rechten Maustaste. Die entsprechenden Stimuli waren auf die Antworttasten aufgeklebt.

### 10.3.3 Stimuli

Ein Beispieldisplay mit allen Faktoren ist in Abbildung 10.1 (S. 207) abgebildet. Es gab zwei Zielreize (*Targetidentität*) - einen hellgrauen Punkt (*T 1*: 1°; Luminanz: 54.51 $cd/m^2$; xy-CIE-Koordinaten: 0.27, 0.31) und einen dunkelgrauen Punkt (*T 2*: 1°; Luminanz: 79.63 $cd/m^2$; xy-CIE-Koordinaten: 0.27, 0.31), welche auf einem grauen Hintergrund (Luminanz: 29.51 $cd/m^2$; xy-CIE-Koordinaten: 0.27, 0.31) präsentiert wurden. Es wurde stets einer der beiden Zielreize präsentiert (*Targetidentität*) und die Aufgabe der Probanden war es, anzugeben, welcher der beiden Zielreize dargeboten wurde. Die Zielreize erschienen auf einer von acht möglichen Zielreizpositionen (*Targetposition*; *T 1* - *T 8*). Die entsprechenden schwarzen Platzhalter (1.2°) waren stets sichtbar. Weiterhin wurde die *Exzentrizität* der Zielreize in zwei Stufen unterschieden. Die Reize konnten auf einem imaginären inneren (*E 1*) oder imaginären äußeren (E 2) Kreis erscheinen, wobei der äußere Kreis stets 5.5° im Durchmesser größer als der innere Kreis war. Die Exzentrizität des inneren Kreises wurde für jeden Patienten individuell in Abhängigkeit des Zentralskotoms des Studienauges so gewählt, dass die Reize größtenteils außerhalb des Skotombereichs lagen (vgl. Skotomgröße in Tabelle 10.2, S. 167). Des Weiteren waren die Reizpositionen nicht gleich verteilt über das Reizdisplay. Jeweils zwei Platzhalter lagen in jedem Quadranten auf einer der insgesamt vier Speichen (*Sektor*, Linienstärke: 1px). Die erste Speiche (*SE 1*) lag bei 45° Kreiswinkel (KW), die zweite Speiche (*SE 2*) lag bei 135° KW, die dritte Speiche (*SE 3*) lag bei 225° KW und die vierte Speiche (*SE 4*) lag bei 315° KW.
Das Fixationskreuz war .7° groß und wurde an der Stelle präsentiert, an der jeder Patient stabil fixierte (vgl. Pseudofovea-Position in Tabelle 10.2, S. 167).

### 10.3.4 Versuchsdurchführung

Das Experiment fand am Ende einer größer angelegten augenärztlichen Untersuchung an dem Uniklinikum in Regensburg (Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Sabine Brandl-Rühle) statt. Vor der Teilnahme an dem Experiment wurden der Nah- und Fernvisus geprüft, eine Goldmannperimetrie mit dem Studienauge durchgeführt, ein Fundusbild angefertigt sowie ein Lesetest durchgeführt. Die augenärztliche Untersuchung dauerte circa 60 Minuten. Auch das Experiment mit den Kontrollprobanden fand innerhalb einer größeren Untersuchung an der Technischen Universität Berlin statt. Die Kontrollprobanden nahmen vor der Testung an einem anderen Experiment teil, welches circa 60 Minuten dauerte. Die Vorbelastung der Patienten und Kotrollprobanden kann demnach als ähnlich bewertet werden.[4]

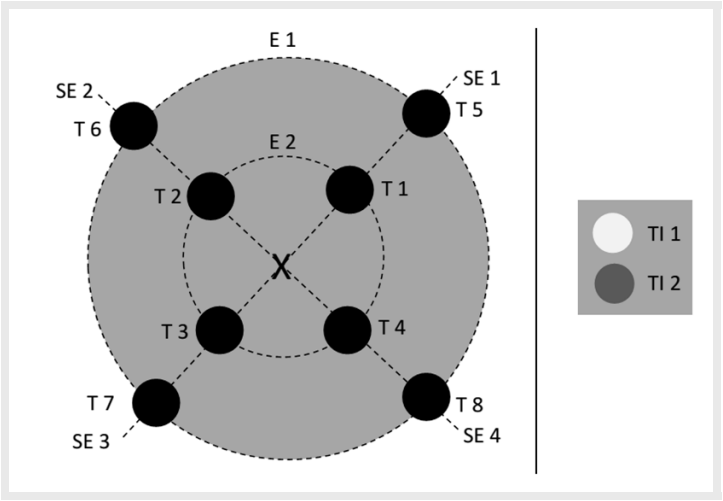



**Abbildung 10.1.:** Rechts illustriert die Abbildung das Reizdisplay. *E* repräsentiert die Stufen des Faktors *Exzentrizität*, *T* steht für die Stufen des Faktors *Targetposition* und *SE* stellt die Stufen des Faktors *Sektor* dar. Links sind die zwei potenziellen Zielreize dargestellt, welche an *T 1* - *T 8* erscheinen konnten.

[4]Eine Gleichheit bzgl. der subjektiv empfundenen Beanspruchung konnte nicht gewährleistet werden. Außerdem konnte der Einfluss unterschiedlicher Experimentalumgebungen nicht kontrolliert werden.

### Vorphase

Nach einer mündlichen Instruktion durch die Autorin schlossen sich acht Übungsdurchgänge an.
Es folgte eine Vorphase, durch welche eine individuelle Darbietungszeit ermittelt wurde (54 Trials). Mit der Konstanzmethode wurde zunächst die Zeit gesucht, bei der die Probanden 70% korrekte Antworten zeigten.[5] Dafür wurden für die Patienten je 9 Durchgänge mit Präsentationszeiten von 200 ms, 150 ms sowie 100 ms dargeboten. Danach folgten ebenso viele Durchgänge mit umgekehrter Zeitenreihenfolge. Ziel war es, die Aufgabe, gemittelt über alle Bedingungskombinationen, für alle *gleich* schwierig zu machen und spätere Boden- und Deckeneffekte zu vermeiden. Da erwartet wurde, dass die Kontrollprobanden die Aufgabe schneller lösen können, wurde für sie die Spanne zwischen 50 ms und 200 ms für die Zeitfindung dargeboten. Durch diese Prozedur ergaben sich für die *AMD0* Gruppe im Mittel Darbietungszeiten von 83 ms (Spanne 50 ms–200 ms) und für die *AMD2* Gruppe Darbietungszeiten von 119 ms (Spanne: 150 ms–200 ms). Die Präsentationszeiten unterschieden sich zwischen den Gruppen tendenziell voneinander ($t_5 = 2.63$, $p = .05$).

### Experimentalphase

Der experimentelle Ablauf ist in Abbildung 10.2 (S. 209) veranschaulicht. Zunächst erschien das Fixationskreuz für 3000 ms gemeinsam mit acht Platzhaltern für die möglichen Targetpositionen. Die Probanden sollten es suchen und fixieren sowie diese Fixation während eines Durchgangs beibehalten. Danach erschien das Reizdisplay mit den vier Speichen sowie einer der beiden Zielreize für die individuell ermittelte Darbietungszeit. Die Platzhalter wurden folgend für 1000 ms von einem Schachbrettmuster überdeckt. Die Aufgabe der Probanden war es, mittels Tastendruck so schnell, aber vor allem so genau wie möglich anzugeben, welcher der beiden Zielreize (heller Punkt: linker Tastendruck; dunkler Punkt: rechter Tastendruck) einen der Platzhalter einnahm. Nach einem auditiven Feedback über die Korrektheit der Antwort startete nach 1000 ms ein neuer Durchgang.
Das Experiment wurde in vier Sitzungen geteilt. Zwischen den Sitzungen wurde jeweils eine Pause gemacht. In einer Sitzung wurden 40 Durchgänge präsentiert. In diesen 40 Durchgängen erschien jeder Zielreiz gleich häufig. Auch jede *Targetposition* wurde innerhalb jeder Sitzung gleich häufig besetzt. Insgesamt absolvierte jeder Proband 160 Durchgänge. Das Experiment dauerte circa 30 Minuten.

[5] Alle Bedingungskombinationen konnten vorkommen.

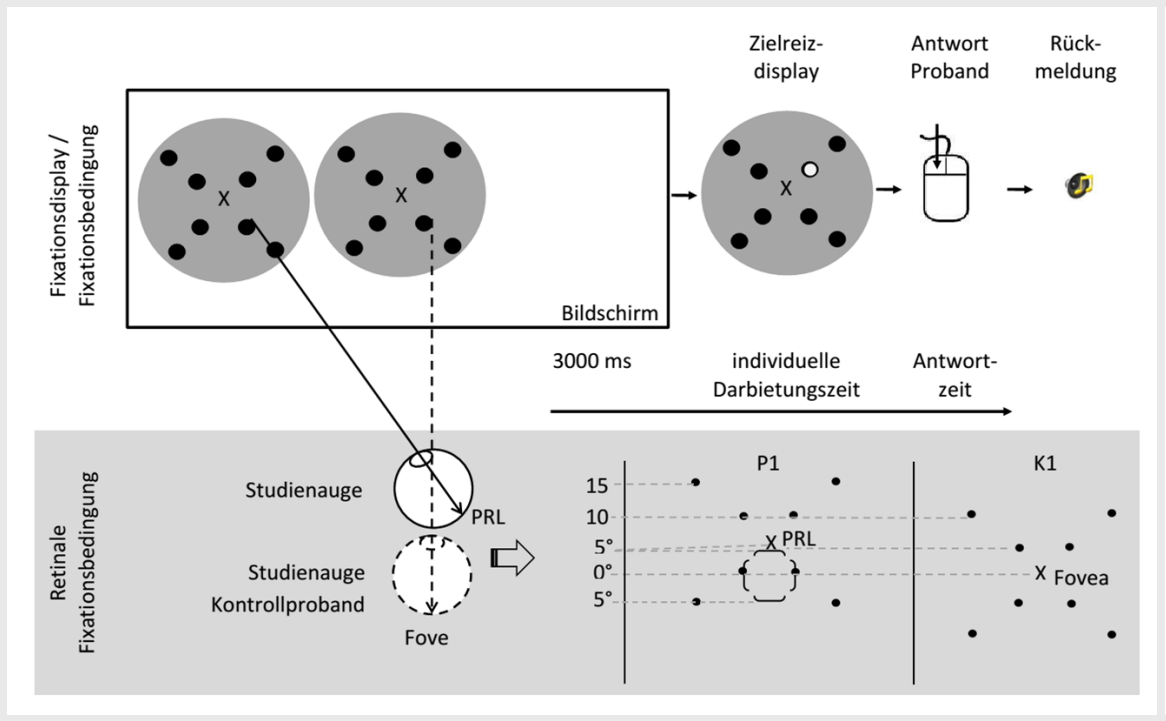



**Abbildung 10.2.:** Der obere Teil der Grafik illustriert beispielhaft einen typischen Ablauf eines Durchgangs. Zunächst erschien das Fixationsdisplay für 3000 ms. Es folgte das Reizdisplay mit einem der beiden Zielreize (hier heller Punkt auf *Targetposition T 1*) für die Dauer der individuell ermittelten Darbietungszeit. Danach folgte die Antwort via Mausklick der Versuchsperson. Nach einer kurzen Rückmeldung über die Korrektheit der Antwort folgte nach 1000 ms der nächste Durchgang. Im unteren Teil der Grafik (rechts) sind beispielhaft ein Studienauge eines Patienten und eines Kontrollprobanden abgetragen (grau unterlegt). Während das Abbild des Fixationskreuzes auf eine retinal periphere Stelle in dem Patientenauge (Pseudofovea) trifft, fällt es in dem Studienauge des Kontrollprobanden in die Fovea. Unten links ist dementsprechend ein Reizdisplay eines Patienten (P1) und dem dazu geordneten Kontrollprobanden (K1) dargestellt. Die Fixation (PRL) von P1 ist um 5° vertikal verschoben. Dort wird das Fixationskreuz präsentiert. Da P1 ein Skotom (eckige Klammern) von 10° Durchmesser aufweist, erscheinen die Reize an *E 1* 5° (Radius des Skotoms) vom Fixationskreuz versetzt. Die Reize an *E 2* werden demzufolge 10° davon versetzt präsentiert. Die *Exzentrizitäten* der Reize sind bei K1 an die Werte von P1 angepasst wurden. Das Fixationskreuz erschien aber stets bei 0°.

### 10.3.5 Versuchsplan

Insgesamt lag dem Versuch ein 2 (*Gruppe*) × 2 (*Exzentrizität*) × 2 (*Targetidentität*) × 4 (*Sektor*) Design zugrunde.[6] Alle Faktoren waren *within-subject* Faktoren. Die Faktoren

[6] Der Faktor *Targetposition* (acht-stufig) stellt keinen orthogonalen Faktor zu den Faktoren *Exzentrizität* und *Sektor* dar und wird daher hier nicht aufgeführt.

*Sektor* und *Targetidentität* wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt und werden somit nicht weiter beachtet. Die relevanten Faktorkombinationen sind in Form von Erwartungswerttabellen in den entsprechenden Analyseschritten abgetragen.

### 10.3.6 Abhängige Variablen

In diesem Experiment wurde der Anteil korrekter Antworten über Durchgänge mit beiden Zielreizen gebildet. Mit anderen Worten gingen sowohl *Treffer* als auch *korrekte Zurückweisungen* des hellen und dunklen Zielreizes in die Analyse ein.[7]

### 10.3.7 Analyse

Die Analyse umfasste zwei Schritte. Analyse I erfolgte auf Gruppenebene. Es wurde geprüft, ob die Gruppen unterschiedliche Erkennungsleistungen in Abhängigkeit von der *Exzentrizität* der Reizdarbietung zeigen. In Analyse II wurde die gleiche Fragestellung für jeden Probanden einzeln geprüft.
Das Signifikanzniveau pro Test auf ein $\alpha = .05$ oder auf ein $\alpha = .20$ festgesetzt, je nachdem, ob die Erwartungen der $H_1$ oder der $H_0$ entsprachen.[8]

## 10.4 Analyse I: Gruppenvergleich

### 10.4.1 Design

Analyse I erfolgte in dem 2 (*Gruppe*) $\times$ 2 (*Exzentrizität*) Versuchsdesign. Die nachfolgende Tabelle 10.3 (S. 211) beinhaltet die hier relevanten Faktorbedingungen, die entsprechenden Erwartungswerte sowie die Hypothesen.

[7] Da relative Häufigkeiten nicht normalverteilt sind, wurde für jede Analyse eine *Arkusinus-Wurzel-Transformation* der relativen Häufigkeiten durchgeführt (Baker, 1934). Die Ergebnisse unterschieden sich nicht von denen ohne eine solche Transformation. Zu Gunsten einer besseren Lesbarkeit wurde sich dafür entschieden, die nicht transformierten Werte darzustellen.

[8] Bei Mehrfachtestung wurde keine $\alpha$- Korrektur vorgenommen, um sich eine möglichst gute Testpower zu erhalten.

**Tabelle 10.3.:**
Analyse I - Erwartungswerte und Hypothesen

| | Exzentrizität | | |
|---|---|---|---|
| Gruppe | E 1 | E 2 | Hypothesen |
| AMD0 | $\pi_{11}$ (80) | $\pi_{12}$ (80) | |
| | | | $(\pi_{11} + \pi_{12}) > (\pi_{21} + \pi_{22})$ |
| | | | $(\pi_{11} - \pi_{12}) > (\pi_{21} - \pi_{22})$ |
| AMD2 | $\pi_{21}$ (80) | $\pi_{22}$ (80) | |

$\pi$: Erwartungswerte (Anzahl der Durchgänge)

### 10.4.2 Abhängige Variable

Für jede Versuchsperson wurden zwei Differenzvariablen gebildet. Die Differenzvariablen ergaben sich jeweils durch die Differenz des Anteils der korrekten Antworten zwischen den beiden Stufen des Faktors *Gruppe* (*AMD0* - *AMD2*) einerseits und den *Exzentrizitätsstufen* (*E 1* - *E 2*) anderseits. Positive Werte sprechen also für mehr korrekte Antworten in *AMD0* als in *AMD2* sowie einen größeren Anteil korrekter Antworten in *E 1* als in *E 2*.

### 10.4.3 Hypothesen

#### Haupteffekt der *Gruppe*

Die *AMD0* Probanden zeigen mehr richtige Antworten als die *AMD2* Probanden. $H_{Gruppe} : (\pi_{11} + \pi_{12}) > (\pi_{21} + \pi_{22})$ bzw. $(\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{21} - \pi_{22}) > 0$.

#### Interaktionseffekt zwischen *Gruppe* × *Exzentrizität*

Für die *AMD0* Probanden wird eine Abnahme des Anteils richtiger Antworten von *E 1* zu *E 2* erwartet. Für die *AMD2* Probanden wird dieser Abfall nicht vorhergesagt. $H_{Gruppe \times Exzentrizitaet} : (\pi_{11} - \pi_{12}) > (\pi_{21} - \pi_{22})$ bzw.$(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{21} + \pi_{22}) > 0$.

### 10.4.4 Analyse

Zur Prüfung dieser Hypothesen wurden zwei gerichtete t-Tests der entsprechenden Differenzvariablen getestet. Die geschätzten Effektstärken wurden als *Cohens* $\hat{d}$ angegeben (genaue Berechnung siehe Wollschläger, 2010, S. 215), welches die Differenz der Mittelwertsdifferenzen in Einheiten der Standardabweichung der Differenzvariable angibt. Das Signifikanzniveau wurde wie oben beschrieben festgesetzt. Wenn ein $\alpha$ von .05 gewählt wurde, zeigte hier ein $p \leq .1$ tendenziell die erwartete Richtung an.

### 10.4.5 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abbildung 10.3 (S. 213) veranschaulicht.

#### Haupteffekt der *Gruppe*

Entgegen der Erwartung zeigten die *AMD0* Probanden gemittelt über die Stufen des Faktors *Exzentrizität* keinen höhere Erfolgswahrscheinlichkeit als die *AMD2* Probanden ($t_5 = 1.28, p = .13, \hat{d} = .93$). Die deskriptiven Daten offenbarten vier Paarungen, für welche die Erfolgswahrscheinlichkeit des Kontrollprobanden im Vergleich zum entsprechenden Patienten höher lag (K1 zu P1; K2 zu P2; K5 zu P5 sowie K6 zu P6). Bei einer Paarung war das entgegengesetzte Muster zu beobachten (K3 zu P3) und bei einer Paarung gab es keine Unterschiede (K4 zu P4).

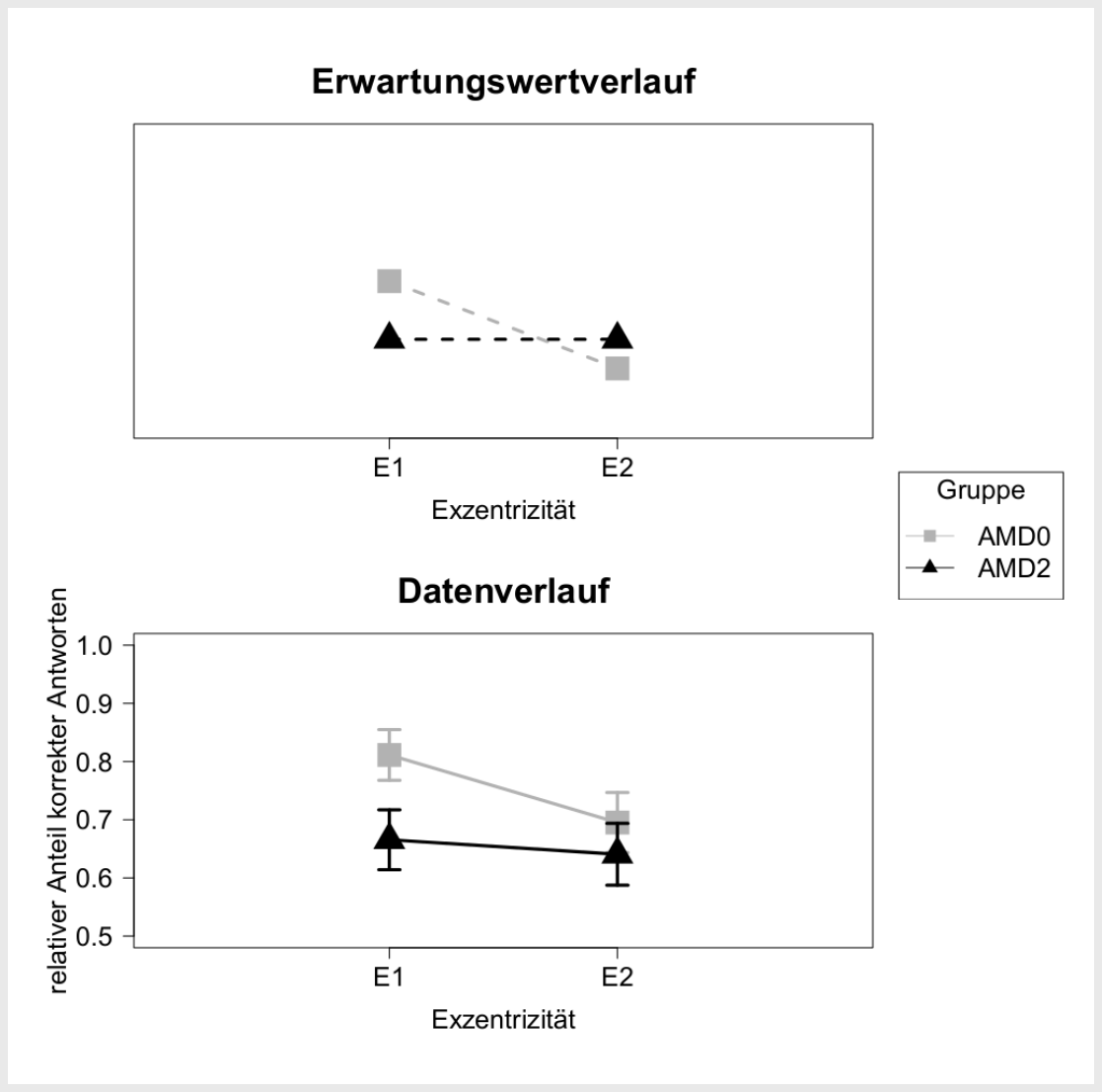



**Abbildung 10.3.:** Oben sind die Erwartungswerte der Analyse I abgetragen. Unten sind die entsprechenden Ergebnisse zu sehen. Gezeigt wird der Anteil korrekter Antworten in jeder Stufe des Faktors *Exzentrizität* (*E 1* und *E 2*) für die *AMD0* Probanden (hellgrau) und die *AMD2* Probanden (schwarz).

Interaktion *Gruppe* × *Exzentrizität*

Wie erwartet nahm die Erfolgswahrscheinlichkeit der *AMD0* Probanden mit zunehmender *Exzentrizität* (von *E 1* zu *E 2*) stärker ab als bei den *AMD2* Probanden ($t_5 = 2.25, p = .04, \hat{d} = .92$). Dies traf deskriptiv für fast alle Paarungen zu. Eine Ausnahme bildete die Paarung K4–P4, bei der sich deskriptiv ein umgekehrtes Muster zeigte.

### 10.4.6 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Während die *AMDO* Probanden einen Abfall der richtigen Antworten mit einer zunehmenden *Exzentrizität* zeigen, war dies wie erwartet nicht für die *AMD2* Patienten der Fall. Insgesamt war die Trefferquote über alle Bedingungen hinweg der älteren Kontrollprobanden (.75) circa zehn Prozentpunkte höher als für die AMD Patienten (.65).

## 10.5 Analyse II: Einzelvergleiche

Mit Analyse II wurde geprüft, inwiefern die Einzeldaten die Gruppendaten bestätigten.

### 10.5.1 Design

Analyse II erfolgte in einem einfaktoriellen Versuchsdesign des Faktors *Exzentrizität*, der für jede Versuchsperson als *between-subject* Faktor vorlag. Die nachfolgende Tabelle 10.4 (S. 215) beinhaltet die hier relevanten Faktorbedingungen, die entsprechenden Erwartungswerte sowie die Hypothesen.

### 10.5.2 Abhängige Variable

Die abhängige Variable wird durch den relativen Anteil der korrekten Antworten (relative Erfolgswahrscheinlichkeiten) in den zwei Stufen des Faktors *Exzentrizität* gemittelt über alle Durchgänge einer Person in der jeweiligen Stufe dieses Faktors gebildet.

### 10.5.3 Hypothesen

*AMD0* Probanden (K1–K6):

Für die *AMD0* Probanden wurde ein Abfall des Anteils korrekter Antworten mit steigender *Exzentrizität* (von *E1* zu *E2*) angenommen.
$H_{AMD0} : \pi_{k1} > \pi_{k2}$, wobei $1 \leq k \leq 6$

*AMD2* Probanden (P1–P6):

Für die *AMD0* Probanden wurde dieser Abfall nicht vermutet. Der Anteil korrekter Antworten sollte zwischen *E1* und *E2* gleich sein.
$H_{AMD2} : \pi_{p1} = \pi_{p2}$, wobei $1 \leq p \leq 6$

**Tabelle 10.4.:**
Analyse II - Erwartungswerte und Hypothesen

| | Exzentrizität | | |
|---|---|---|---|
| KD | E1 | E2 | Hypothesen |
| K1–K6 | $\pi_{k1}$ $(1 \leq k \leq 6)$ | $\pi_{k2}$ $(1 \leq k \leq 6)$ | $\pi_{k1} > \pi_{k2}$ $(1 \leq k \leq 6)$ |
| P1–P6 | $\pi_{p1}$ $(1 \leq p \leq 6)$ | $\pi_{p2}$ $(1 \leq p \leq 6)$ | $\pi_{p1} = \pi_{p2}$ $(1 \leq p \leq 6)$ |

KD: Kodierung; $\pi$: Erwartungswerte

### 10.5.4 Analyse

Um die eben benannten Hypothesen zu prüfen wurden für jeden Probanden ein t-Test durchgeführt. Für K1–K6 erfolgte der Test gerichtet und das Signifikanzniveau wurde pro statistischen Test auf $\alpha = .05$ gesetzt. Ein Signifikanzniveau von $p \leq .1$ zeigte hier tendenziell die erwartete Richtung an. Für P1–P6 erfolgte der Test ungerichtet und das Signifikanzniveau wurde pro statistischen Test auf $\alpha = .2$ gesetzt.

### 10.5.5 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abbildung 10.4 (S. 216) veranschaulicht. Die deskriptiven Daten sind der Tabelle 10.5 (S. 217) zu entnehmen.

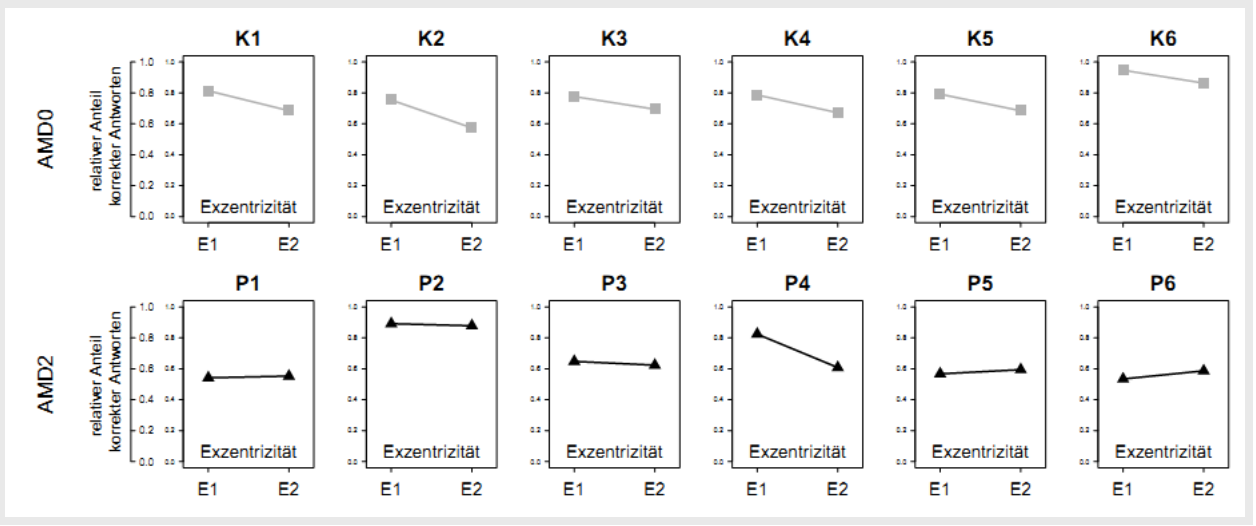



**Abbildung 10.4.:** In dieser Abbildung sind die Ergebnisse der Analyse II. Gezeigt wird der Anteil korrekter Antworten an jeder Stufe des Faktors *Exzentrizität* (*E 1* und *E 2*) für die Kontrollprobanden (oben, hellgrau) und die Patienten (unten, schwarz).

*AMD0* Probanden (K1–K6):

Auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ zeigten zwei Kontrollprobanden (K1 und K2) den erwarteten Abfall der Erfolgswahrscheinlichkeit mit einer zunehmenden *Exzentrizität*. Für alle anderen war der Effekt auf einen Signifikanzniveau von $\alpha = .10$ tendenziell beobachtbar.

*AMD2* Patienten (P1–P6):

Mit einer Ausnahme (P4) zeigte wie erwartet keiner der Patienten einen Abfall der Erfolgswahrscheinlichkeit.

### 10.5.6 Zusammenfassung der auffallendsten Ergebnisse

Mit einer Ausnahme (P4) zeigten die *AMD2* Patienten wie erwartet einen ähnlichen Anteil korrekter Antworten über beide Stufen der *Exzentrizität* hinweg. Die *AMD0* Probanden zeigten hingegen einheitlich (wenngleich meist nur tendenziell) einen Abfall der korrekten Antworten von *E 1* zu *E 2*.

**Tabelle 10.5.:**
Analyse II - individuelle Ergebnisse

| KD | t-Wert | p-Wert | Effektstärke |
|---|---|---|---|
| K1 | $t_{144} = 1.72$ | .04 | $\hat{d} = .28$ |
| K2 | $t_{144} = 2.48$ | .01 | $\hat{d} = .41$ |
| K3 | $t_{142} = 1.33$ | .09 | $\hat{d} = .22$ |
| K4 | $t_{144} = 1.49$ | .07 | $\hat{d} = .25$ |
| K5 | $t_{142} = 1.51$ | .07 | $\hat{d} = .25$ |
| K6 | $t_{144} = 1.69$ | .05 | $\hat{d} = .28$ |
| P1 | $t_{144} = -.50$ | .62 | $\hat{d} = -.08$ |
| P2 | $t_{146} = .26$ | .82 | $\hat{d} = .04$ |
| P3 | $t_{142} = .50$ | .62 | $\hat{d} = .08$ |
| P4 | $t_{146} = 2.99$ | $< .01$ | $\hat{d} = .49$ |
| P5 | $t_{146} = -.33$ | .74 | $\hat{d} = -.05$ |
| P6 | $t_{144} = -.50$ | .62 | $\hat{d} = -.08$ |

## 10.6 Diskussion

Mit dem Ziel veränderte Aufmerksamkeitsprozesse von den kontroversen Ergebnissen des vorangegangen Experiments zu differenzieren sowie die Ergebnisse des Experiments 2 auf Patienten mit natürlich entstandenen zSV zu übertragen, wurde mit dem vorliegenden Experiment die Fragestellung untersucht, ob ein opakes natürliches Zentralskotom bei Abwesenheit von Augenbewegungen zu einer Weitstellung des Aufmerksamkeitsfokus führt. Um eine Äquivalenz zu Experiment 2 herzustellen und wesentlichen Kritikpunkten aus Experiment 3 zu begegnen, wurde (i) ein sogenanntes *Useful Field of View* (UVOF, Sekuler & Ball, 1986) verwendet, um die Erkennungsleistung von Reizen in unterschiedlichen Exzentrizitäten als Maß für die Größe des Aufmerksamkeitsfokus heranzuziehen und nicht wie zuvor einen Augenbewegungsparameter (Sakkadenamplituden). Demzufolge wurde eine verdeckte visuelle Suche durchgeführt (vgl. Abschnitt 5.1, S. 58). Die Größe des Aufmerksamkeitsfokus wurde indirekt abgelesen. Wenn die Leistung der Zielreizentdeckung an exzentrischen Positionen der an zentralen Positionen ähnelte oder höhere Leistungen an exzentrischen Postionen im Vergleich zu zentralen Positionen vorlagen, wurde auf eine große Fokusgröße geschlossen. Wenn die Erkennungsleistung an zentralen Positionen besser als an exzentrischen Positionen war, wurde auf eine kleine Fokusgröße geschlossen. (ii) In dem vorliegenden Experiment wurden weiterhin nur AMD Patienten untersucht, die auf beiden Augen ein opakes Zentralskotom aufwiesen. Ziel war es einerseits die Polymorphie der Patientenstichprobe zu reduzieren und andererseits die Äquivalenz zu der simulierten Skotomgruppe ($CVL$) zu erhöhen, bei der ein opakes Zentralskotom auf beiden Augen simuliert wurde. (iii) Die Präsentation der Reize wurde an die individuelle Sehsituation der Patientengruppe angepasst. Es sollte gewährleistet werden, dass die Patienten einen Großteil des Reizdisplays trotz der Zentralskotome wahrnehmen konnten. (iv) Da die Bestimmung einer Pseudofovea lediglich monokular erfolgen kann, wurde die Untersuchung monokular durchgeführt. Untersucht wurde die Erkennungsleistung an Targetpositionen in verschiedenen Exzentrizitäten mit der Erwartung, dass die Kontrollprobanden (ältere hinsichtlich der Augen gesunde Probanden) bessere Leistungen für zentrale Zielreize zeigen und die Patienten ähnlich gute Erkennungsleistungen für Zielreize in allen Exzentrizitäten aufweisen.

### 10.6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie erwartet zeigten die AMD Patienten für beide Stufen der *Exzentrizität* einen ähnlichen Anteil korrekter Antworten (Trefferquote), während die älteren Kontrollprobanden mehr korrekte Antworten für zentraler gelegene Reize im Vergleich zu weiter exzentrisch präsentierten Reizen zeigten. Ein Gruppenvergleich offenbarte, dass die Kontrollprobanden für zentrale Targets deutlich höhere Trefferquoten ($M = .81$, $SD = .07$) aufwiesen als die Patienten ($M = .67$, $SD = .15$). Für exzentrisch dargebotene Targets verschwand dieser Unterschied (AMD0: $M = .70$, $SD = .09$; AMD2: $M = .64$, $SD = .12$). Die individuelle Datenanalyse bestätigte weitgehend die Gruppenmuster. Alle Kontrollprobanden wiesen (meist tendenziell, $\alpha \leq .10$) eine geringere Trefferquote für die exzentrisch dargebotenen Zielreize im Vergleich zu den zentralen Zielreizen auf. Im Gegensatz dazu zeigten alle Patienten mit einer Ausnahme (P4) ähnliche Trefferquoten über beiden Stufen der *Exzentrizität* hinweg.

### 10.6.2 Einordnung in bisherige Befunde

#### Vergleich mit den Ergebnissen des Experiments 2

Für Experiment 2 und 4 wurden zwei unterschiedliche Paradigmen verwendet, so dass eine direkte Vergleichbarkeit nicht hergestellt werden kann. Dafür gab es zwei pragmatische Gründe. In einem Vortest mit Patienten stellte sich heraus, dass die Aufgabe aus Experiment 2 zu schwierig war. Die Patienten waren hinsichtlich des Alters und des Krankeitsverlaufes fortgeschritten, wodurch auf einen wesentlich einfacheren Versuchsablauf zurückgegriffen werden musste. Die Leistungsfähigkeit der Patienten bedingte ebenso unterschiedliche Darbietungszeiten zwischen Patienten und Kontrollprobanden. Des Weiteren war es aus ethischen Gründen nicht möglich Bedingungen zu präsentieren, deren Lösung durch die Patienten unmöglich war. Daher wurden keine Reize, in, von der Fovea aus gesehen, zentraler Position präsentiert, wie es in der Bedingung *TPOS 1* des Experiments 2 der Fall war. Dem experimentellen Vorgehen gemeinsam ist die Darbietung von Zielreizen an zentralen und exzentrischen Positionen.[9] Darüber hinaus wurden in beiden Experimenten Probanden ohne zSV mit Probanden verglichen, die einen opaken zSV auf beiden Augen aufwiesen. Auf der Basis dieser Gemeinsamkeit sollen hier die Ergebnisse beider Experimente verglichen werden.
In Experiment 2 zeigten die Kontrollprobanden bessere Erkennungsleistungen an zentralen Zielreizpositionen als die Probanden mit simuliertem opaken Skotom. Dieser Effekt

[9] Die Angaben zentral und exzentrisch beziehen sich hier in Relation zum Fixationspunkt. In Experiment 2 war zentral stets äquivalent zu foveal und in Experiment 4 zu foveal für die Kontrollprobanden und pseudofoveal für die Patienten.

kehrte sich um, wenn die Reize exzentrischer präsentiert wurden. Auch wenn sich der Effekt in Experiment 4 nicht gleichermaßen umkehrte, zeigte sich auch hier das Muster, dass die Kontrollprobanden eine bessere Trefferquote für zentrale Zielreize zeigten, sich die Trefferquote für exzentrische Zielreize allerdings nicht mehr deskriptiv zwischen den Gruppen unterschied. Mit den Ergebnissen von Experiment 2 wurden die Vorhersagen der *Gradientenhypothese* bestätigt und geschlussfolgert, dass Probanden alle retinalen Areale nutzen, welche genügend Sehschärfe für eine Zielreizfindung aufzeigen. Für Probanden ohne zSV sind es foveale Areale (zumindest bei geringem *Stimuluskontrast*) und bei Probanden mit simuliertem opaken zSV sind es vermutlich *alle* peripheren Areale. Die Patienten in Experiment 4 präsentierten ähnliche Trefferquoten für alle Targetpositionen und Exzentrizitäten, obwohl sie eine stabile Pseudofovea aufwiesen. Mit anderen Worten, es gab ein peripheres Areal mit dem sie stabil fixierten und dennoch erkannten sie Zielreize ähnlich gut an anderen retinal peripheren Positionen. Da Augenbewegungen durch den experimentellen Ablauf ausgeschlossen werden können, kann geschlussfolgert werden, dass auch die Patienten mit natürlich entstanden zSV viele (alle) peripheren Areale für eine Zielreizentdeckung nutzen. Dies könnte durch eine Weitstellung des Aufmerksamkeitsfokus erreicht worden sein. Quantitativ unterscheiden sich die Experimentalergebnisse dahingehend, dass die Leistungen in Experiment 2 besser ausfielen als in Experiment 4. Da dies auf beide Gruppen gleichermaßen zutraf, könnte die Reduktion einen Effekt des Alters widerspiegeln. Aus der Literatur ist hinreichend bekannt, dass sich das Gesichtsfeld mit dem Altern verkleinert (z.B. Kozich, 2010) und damit die Wahrnehmung für exzentrische Reize verschlechtert. Aufgrund des unterschiedlichen experimentellen Vorgehens in Experiment 2 und 4 konnte der Effekt des Alters allerdings nicht (wie zwischen den Experimenten 1 und 3) kontrolliert werden.

### Andere relevante Bezüge zur bestehenden Literatur

Die Ergebnisse der Kontrollprobanden bestätigten die Befundlage andere Studien mit älteren Probanden (z.B. Ball et al., 1988; Sekuler & Ball, 1986). Ball et al. (1988) berichteten beispielsweise, dass ältere Probanden (älter als 60 Jahre) weiter exzentrisch dargebotene Reize (ab 10° visueller Sehwinkel) langsamer und weniger häufig korrekt erkennen als jüngere (jünger als 34 Jahre) Kontrollprobanden. Weiterhin stellten sie heraus, dass alle Probanden eine schlechtere Leistung aufweisen je exzentrischer die Reizdarbietung wird. Damit kann hier zunächst festgehalten werden, dass die Grundbefunde eines typischen *UVOV*-Experiments bestätigt werden konnten, obwohl einige Parameter verändert wurden. Es wurden andere Stimuli verwendet, weniger Speichen präsentiert und andere Exzentrizitäten (abgestimmt auf die Skotomgrößen der Patienten) gewählt. Das ist wichtig herauszustellen, da die Unterschiede, welche die Patienten in dem vorliegen-

den Experiment aufwiesen, nicht auf die Abweichung in dem experimentellen Vorgehen zurückzuführen sind.

Ich möchte an dieser Stelle noch auf einen weiteren Forschungsschwerpunkt der eben zitierten Artikel eingehen. Ball et al. (1988) führten mit allen Altergruppen Trainingsstudien durch und stellten fest, dass insbesondere die älteren Teilnehmer davon profitierten. Mit anderen Worten scheint die Wahrnehmung für exzentrisch dargebotene Reize mit Übung veränderbar zu sein. Die Ergebnisse der Patienten könnten indirekt auf einen solchen Übungseffekt hindeuten. Da Patienten mit opakem zSV auf ihr peripheres Sehen mehr angewiesen sind als Personen, welche keinen opaken zSV aufweisen, könnten sie das Wahrnehmen von exzentrischen Reizen ständig einüben. Auch, wenn die hier untersuchten Patienten für exzentrische Zielreize keine besseren Leistungen zeigten als die alters-korrelierten Kontrollprobanden, könnte dies eine weitere Erklärung für die Ergebnisse sein. Gegen diese Annahme spricht allerdings der Fakt, dass hier Patienten untersucht wurden, welche gelernt haben mit einer Pseudofovea zu fixieren. Wenn die Patienten diesen Fixationsmechanismus tatsächlich in ihren Alltag integriert hätten, sollten sie keine erhöhte Übung mit exzentrischen Reizen außerhalb der Pseudofovea haben.

### 10.6.3 Aufmerksamkeitsverteilung

Zunächst stellt sich die Frage, ob das experimentelle Vorgehen dazu einlädt, den Aufmerksamkeitsfokus weit zu stellen. Zielreize konnten für die Probanden und Patienten unerwartet in allen Exzentrizitäten erscheinen. Eine gute Strategie wäre es also, so viele Bereiche wie möglich zu beachten und das würde große Fokusgrößen implizieren. Die Ergebnisse der Kontrollprobanden zeigten allerdings deutlich, dass dies hier nicht der Fall war. Sie erkannten weitaus mehr zentraler dargebotene Zielreize als weiter exzentrisch präsentierte. Dies entsprach (wie eben dargestellt) auch der gängigen Literatur. Es kann also geschlussfolgert werden, dass der experimentelle Aufbau per se nicht für die weite Verteilung von Aufmerksamkeit verantwortlich war. Warum sollten die Patienten ihre Aufmerksamkeit dann weiter über das Suchdisplay verteilen als die Kontrollprobanden? Mit den Vorhersagen der *Gradientenhypothesen* können die unterschiedlichen Verteilungsmuster erklärt werden. Wenn alle retinalen Areale genutzt werden, die genug Sehschärfe aufweisen, um einen Zielreiz zu finden, dann sollte die Größe des Aufmerksamkeitsfokus so gewählt werden, dass diese Areale für die Zielreizentdeckung genutzt werden. Bei Probanden mit intakter zentraler Wahrnehmung sollten dies foveale Areale sein (bessere Erkennungsleistung für zentrale Reize). Bei Patienten mit opakem zSV sollten das viele (alle) peripheren Areale sein (ähnliche Erkennungsleistung für zentrale und exzentrische

Reize).[10]
Ich habe vormals bereits mehrfach darauf hingewiesen, dass eine solche Weitverteilung unter Konditionen, in denen normalerweise eine Engstellung zu beobachten ist, mit Kosten verbunden ist. Diese Kosten zeigten sich hier deutlich darin, dass die AMD Patienten nicht per se besser darin waren, weiter exzentrisch dargebotene Reize wahrzunehmen. Die Leistung unterschied sich kaum im Vergleich zu den Kontrollprobanden. Die Kontrollprobanden hingegen zeigten deutlich bessere Erkennungsleistungen für zentraler dargebotene Reize. In diesen Bedingungen sind die Kosten für eine Weitstellung als hoch einzuschätzen. Kontrollierte Kosten-Nutzen-Aussagen können hier allerdings nicht getroffen werden, da Bedingungen, unter denen hohe Kosten bzw. ein hoher Nutzen auftreten sollten, nicht gezielt hergestellt wurden.

### 10.6.4 Offene Fragen

In Abbildung 6.3.4 (S. 86) wurde die Vermutung geäußert, dass die Adaption des Aufmerksamkeitsfokus davon abhängen könnte wie gut Patienten mit opakem zSV gelernt haben, mit einer stabilen retinalen peripheren Stelle (Pseudofovea) zu fixieren oder ob sie verschiedene solcher Stellen (multiple PRLs) nutzen. Hier wiesen alle untersuchten Patienten eine stabile Pseudofovea auf und trotzdem gab es eher Indizien dafür, dass die Fokusgröße weit eingestellt wird und auch andere retinal periphere Stellen genutzt werden. Die Erkennungsleistung war nicht besser in dem trainierten pseudofovealen Areal als in anderen peripheren Arealen. Da die Art der Fixation in dem vorliegenden Experiment allerdings nicht systematisch variiert wurde, können die Ergebnisse bezüglich dieser Fragestellung keine abschließende Antwort liefern. Weiter kritisch ist bei so durchgeführten Experimenten stets die Frage, inwiefern die Pseudofovea zum Lösen der aktuellen Aufgabe genutzt wurde. Auch wenn die Patienten gut darauf trainiert waren und die Stelle unmittelbar vor der Untersuchung nochmal überprüft wurde, kann man einen Übertrag nicht voll und ganz gewährleisten (vgl. Abschnitt 3.3, S. 39).

[10] unter der Bedingung, dass das Reizdisplay nicht foveal präsentiert wird

Wie weiter oben bereits angesprochen muss hier ebenso offen bleiben, inwiefern die vorgenommene Einstellung des Aufmerksamkeitsfokus bonadaptiv war. Die Probanden des hiesigen Experiments wurden nicht dazu gebracht unter Bedingungen einer kleinen oder großen Fokusgröße eine Aufgabe zu lösen. Nur dann hätte man anhand der Leistungen entscheiden können, ob eine große Fokusgröße bonadaptiv ist. Und damit zusammenhängend ist auch unter Annahme eines Nutzens der Adaptivität in der experimentellen Abfolge unklar, ob eine Weitstellung der Fokusgröße bonadaptativ in einer anderen Situation wäre. Schlussfolgerungen für den Alltag der Patienten können hier nicht getroffen werden.

## 10.7 Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung

Die Ergebnisse geben Hinweise darauf, dass die *Gradientenhypothese* die richtigen Vorhersagen für die Verteilung von Aufmerksamkeit bei natürlich entstandenen zSV macht. Die AMD Patienten zeigten für zentrale (pseudofoveale) und exzentrische Reizpositionen ähnlich gute Erkennungsleistungen. Die Kontrollprobanden hingegen erkannten wesentlich mehr zentrale (foveale) Reize als exzentrische. Langfristig, natürlich entstandene Zentralskotome könnten demnach ebenso wie ein kurzfristig simulierter zSV zu einer Akkommodation des Vorgangs, die Größe des Aufmerksamkeitsfokus einzustellen, führen. Eindeutige Schlussfolgerungen für Patienten mit natürlich entstandenen zSV möchte ich an dieser Stelle aufgrund der oben angeführten Kritikpunkte allerdings nicht ziehen.

**Abkürzungen**

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

AMD0: kein Skotom; Kontrollgruppe

AMD2: opakes Skotom

CVB: semi-opakes Skotom; central vision blur

CVL: opakes Skotom; central vision loss

E 1: Target zentral präsentiert

E 2: Target exzentrisch präsentiert

NVL: kein Skotom; no central vision loss

PRL: *preferred retinal locus*

SE 1 - SE 4: Sektor 1 - Sektor 4

T 1- T 8: Targetposition 1 - Targetposition 8

UFOV: Useful Field of View

zSV: zentraler Sehverlust

# 11
# Gesamtdiskussion

*Unser Wissen ist ein Tropfen, was wir nicht wissen, ist ein Ozean.* (Isaac Newton)[1]


**Zusammenfassung**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung des Vorgangs, die Größe des Aufmerksamkeitsfokus einzustellen und dessen Unabhängigkeit vom Fixationsverhalten zu prüfen. Dafür wurde in vier Experimenten das visuelle Suchverhalten unter verschiedenen Ausprägungen der Skotomopazität analysiert. In Experiment 1 und 2 wurden die direkten Auswirkungen fovealer Beeinträchtigungen auf die Verteilung von selektiver visueller Aufmerksamkeit mit Hilfe von simulierten Zentralskotomen bei jungen, normalsichtigen Probanden untersucht (zentraler Sehverlust als Forschungsmethode). In Experiment 3 und 4 wurde die Gültigkeit dieser Ergebnisse für Patienten mit natürlich entstandenen Zentralskotomen (AMD Patienten) überprüft (zentraler Sehverlust als Forschungsgegenstand). So konnte einerseits das Zentrum der Aufmerksamkeit von dem Bereich des schärfsten Sehens entkoppelt werden. Andererseits konnten kurzfristige und direkte Effekte eines zSV von langzeitlichen und indirekten Effekten, wie beispielsweise das Alter oder die Dauer der Erkrankung, getrennt betrachtet werden.


[1] zitiert nach *http://www.zitate-online.de/literaturzitate/allgemein/1556/was-wir-wissen-ist-ein-tropfen-was-wir.html*

## 11.1 Hintergrund

Die altersbedingte Makuladegeneration (AMD) stellt ein ernst zu nehmendes Problem für ältere Menschen dar. Trotz intensiver medizinischer Forschung kann eine Heilung nicht in Aussicht gestellt werden. Da diese Erkrankung allerdings eine Beeinträchtigung in nahezu allen Lebensbereichen mit sich bringen kann, stellt sich die Frage, wie die Betroffenen mit den visuellen Veränderungen umgehen. Dahingehend wird seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts verstärkt geforscht. Daraus resultierend gibt es eine große Bandbreite von Ergebnissen, wie sich das Blickverhalten von AMD Patienten verändert und wie sie verschiedene Leseaufgaben lösen. Demgegenüber wurden andere Aufgaben, welche wichtige Lebenssituationen repräsentieren (z.B. visuelle Suche), nicht ebenso intensiv beforscht. Darüber hinaus wurden in der Vergangenheit kaum Verbindungen von Ergebnissen experimenteller Forschung zu höheren kognitiven Verarbeitungsprozessen (z.B. Verteilung von Aufmerksamkeit) gezogen. Weiterhin bleibt in vielen Studien unklar, inwiefern die Skotomopazität (Erklärung siehe Anhang A) einen Einfluss auf das untersuchte Verhalten hat. Es gibt nur wenige Arbeiten, in denen Patienten in verschiedenen Krankheitsstadien oder Probanden mit unterschiedlich stark ausgeprägten Skotomopazitäten untersucht wurden. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Teil dieser Forschungslücken zu schließen.

## 11.2 Inhaltlicher Aufbau

Die vorliegende Arbeit umfasst drei Teile: einen theoretischen Teil (Kapitel 2-6), einen empirischen Teil (Kapitel 7-10) sowie den in diesem Kapitel folgende Konklusion.

## 11.3 Theoretischer Teil

Der Begriff *Makuladegeneration* beschreibt eine Gruppe retinaler Erkrankungen, welche die *Makula lutea* der Netzhaut betreffen. Allen gemein ist ein allmählicher Funktionsverlust der Stelle des schärfsten Sehens im menschlichen Auge (Kapitel 2). Die *altersbedingte Makuladegeneration* (*AMD*) ist eine Form, welche vornehmlich Menschen ab dem 50. Lebensjahr betrifft. Die AMD stellt ein ernst zu nehmendes Problem für ältere Menschen dar, dessen Prävalenz aufgrund des demografischen Wandels zunehmen dürfte (Wolfram & Pfeiffer, 2014).
In Kapitel 3 wurden Fixationsmaße (z.B. Mehrfachfixierungen) sowie sakkadische Maße (z.B. Sakkdenamplitude) dargestellt. Diese Parameter wurden für vier verschiedene Fälle beschrieben: (i) Parameter bei normalsichtigen, jungen Beobachtern, (ii) Parameter un-

ter Bedingungen verschiedener retinaler Positionen, (iii) Parameter bei normalsichtigen, älteren Beobachtern und (iv) Parameter beim Vorliegen einer AMD. Der Anteil an Mehrfachfixierungen erhöht sich mit zunehmender Exzentrizität der Reizdarbietung, dem Alter sowie dem Vorhandensein einer AMD Erkrankung. Die Befunde bezüglich der Sakkadenamplitude fielen indes kontroverser aus, was an einer unzureichenden Differenzierung der jeweiligen Stichproben gelegen haben könnte.

In Kapitel 4 wurde Aufmerksamkeit als *willentliche* Selektion von Wahrnehmungseindrücken auf der Basis von Salienz eingeführt. Salienz wurde dabei als psychologisches Konstrukt definiert. Der Stimuluskontrast beschreibt hingegen die physikalische Unterschiedlichkeit zwischen Reizen. Im Anschluss (Kapitel 5) wurde das visuelle Suchparadigma vorgestellt, mit welchem die oben benannten Aufmerksamkeitsprozesse untersucht werden können. Dabei wurden die Akkommodationen der Reaktionszeiten und Augenbewegungsmaßen an verschiedene Salienzstufen beschrieben. Darüber hinaus wurden diese Akkommodationen für vier verschiedene Fälle beleuchtet: (i) Reizdarbietung bei normalsichtigen, jungen Beobachtern, (ii) Reizdarbietung auf verschiedenen retinalen Positionen, (iii) Reizdarbietung bei normalsichtigen, älteren Beobachtern und (iv) Reizdarbietung beim Vorliegen einer AMD. Wenn die Salienz eines Zielreizes abnimmt, steigen Reaktionszeiten und Mehrfachfixierungen bei normalsichtigen, jungen und älteren Probanden. Die Sakkadenamplitude nimmt dann ab. Eine retinal exzentrische Reizposition sowie eine AMD Erkrankung brachten ähnliche Befunde bezüglich der Reaktionszeiten und Mehrfachfixierungen hervor. Die Ergebnisse hinsichtlich der sakkadischen Akkommodation fielen ähnlich wie in Kapitel 3 kontrovers aus.

In Kapitel 6 wurden darauf aufbauend salienzbasierte Modelle vorgestellt, welche versuchen zu erklären, wie ein Zielreiz unter Ablenkerreizen in einem visuellen Suchexperiment gefunden werden kann. Insbesondere das *STRAVIS* Modell macht dabei Vorhersagen über die Größe des Aufmerksamkeitsfokus. Diese wird *weit* gestellt, wenn die (anfängliche) Salienz des Targets groß ist. Die Größe des Fokus wird hingegen *eng* gestellt, wenn die (anfängliche) Salienz des Targets gering ist. Ziel der Anpassung der Größe des Aufmerksamkeitsfokus ist es, die (fein abgestimmte) Salienz des Targets in einer beachteten Zone so groß zu machen, dass es effektiv gefunden werden kann (vgl. Abbildung 6.1, S. 79, vierte Zeile).
Darüber hinaus wurde die Länge der Sakkaden als Korrelat für die Größe des Aufmerksamkeitsfokus in einer offenen Suche vorgeschlagen. Für den Fall einer verdeckten Suche wurden einige Methoden vorgestellt, mit Hilfe derer man versucht die Größe des Aufmerksamkeitsfokus zu bestimmen (vgl. Abschnitt 6.2.2, S. 76). Es konnte allerdings festgestellt werden, dass das Zentrum der Aufmerksamkeit und der Bereich des schärfsten Sehens bei

intakter fovealer Wahrnehmung gekoppelt ist.
Daher wurden die Vorhersagen der salienzbasierten Modelle auf zwei Fälle erweitert, den Fall einer eingeschränkten fovealen Wahrnehmung (semi-opaker zSV) und den Fall einer defekten fovealen Wahrnehmung (opaker zSV), da zumindest der letzte Fall eine Entkopplung ermöglicht (vgl. Abschnitt 6.3.2, S. 83). In Bezug zu dieser Erweiterung wurde in der vorliegenden Arbeit der Zusammenhang zwischen diesen bereits beschriebenen attentionalen Parametern (z.B. Aufmerksamkeitsfokus) und einem retinalen Faktor genauer untersucht werden - der *Sehschärfegradient* der Retina.

Wenn die Fovea centralis der Ort des schärfsten Sehens ist (vgl. Kapitel 3), sollten folgende Zusammenhänge zwischen dem Aufmerksamkeitsfokus als psychologisches Konstrukt, und den physiologischen Mechanismen der Retina bestehen:

> Wenn eine hohe Zielreizsalienz vorliegt, sollte auch die Sehschärfe retinal peripherer Bereiche ausreichen, um einen Zielreiz zu entdecken. Es gibt also einen *großen/weiten* retinalen Bereich, welcher für die Zielreizentdeckung genutzt werden kann. Dies könnte auf Reizebene einen auf *weit* eingestellten Aufmerksamkeitsfokus reflektieren. Bei einer visuellen Suche könnten die Sakkaden (falls diese nötig sind) deshalb groß sein, weil die Landeposition nicht exakt auf einem Item gewählt wird, sondern so, dass möglichst viele Items von dem weiten retinalen Bereich erfasst werden.
>
> Wenn im Gegensatz dazu eine geringe Zielreizsalienz vorliegt, reicht die Sehschärfe der retinal peripheren Bereiche für eine Zielreizidentifikation nicht mehr aus. Dies bedingt exakte foveale Fixationen und könnte sich in einem *engen* Fokus widerspiegeln (Erinnerung: Abbildung 6.2, S. 83).

Beim Vorliegen eines **semi-opaken zSV** kann man davon ausgehen, dass die Salienz des Targets durch diesen abnimmt. Da beim Vorliegen eines semi-opaken Skotoms immer noch foveal fixiert wird (z.B. Hogg & Chakravarthy, 2006), können die gleichen retinalen Mechanismen, die bei intakter fovealer Wahrnehmung vorliegen, angenommen werden. Da die anfängliche Targetsalienz durch das semi-opake Skotom geringer als bei intakter fovealer Wahrnehmung ist, sollten ausschließlich foveale Gebiete zur Targeterkennung genutzt werden. Mit anderen Worten: Auch wenn die Reize physikalisch gut unterscheidbar sind, sollte der Aufmerksamkeitsfokus *eng* gestellt werden, um in dem beachteten Areal hohe (fein abgestimmte) Targetsalienz zu erzielen (Erinnerung: Abbildung 6.3, S. 84). Für eine eingeschränkte foveale Wahrnehmung sollten sich demzufolge hauptsächlich bei einem hohen Stimuluskontrast Unterschiede zu einer intakten fovealen Wahrnehmung zeigen.

### *Gradientenhypothese* versus *Fixationsorthypothese*

Beim Vorliegen eines **opaken zSV** kann die angestrebte Entkopplung des Bereichs des schärfsten Sehens und dem Zentrum der Aufmerksamkeit erreicht werden. Zunächst kann man auch hier davon ausgehen, dass die Salienz des Targets durch den opaken zSV abnimmt. Weiterhin ist klar, dass die foveale Sehschärfe gegen null geht und retinal periphere Bereiche zur Reizerkennung genutzt werden können. Für diesen Fall wurde die *Fixationsorthypothese* der *Gradientenhypothese* gegenübergestellt.

> *Gradientenhypothese*: Wenn die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus darstellt, sollte sie strategisch erfolgen. Ein strategisches Vorgehen könnte es sein alle intakten, also alle peripheren Areale für die Reizverarbeitung zu nutzen. [2] Übertragen auf den Aufmerksamkeitsfokus würde dies bedeuten, dass er *weit* sein sollte (Erinnerung: Abbildung 6.4, S. 86, erste Zeile). Die *Weitstellung* des Aufmerksamkeitsfokus sollte sowohl bei hohem als auch bei geringem Stimuluskontrast erfolgen.
>
> *Fixationsorthypothese*: Auf der anderen Seite ist in Anlehnung an die Veränderungen des Fixationsverhaltens (Verschiebung der Fovea in ein retinal peripheres Areal, vgl. Kapitel 3) denkbar, dass nur dieses Areal für eine Targetidentifikation genutzt wird. Wenn die Größenenstellung des Aufmerksamkeitsfokus an dieses Fixationsverhalten gekoppelt ist, sollte sie so erfolgen, dass beachtete Reize in das neue Fixationsareal fallen. An dieses angepasst wird der Aufmerksamkeitsfokus *eng* gestellt und so ausgerichtet, dass das zentrale Skotom nicht in den Fokus fällt (Erinnerung: Abbildung 6.4, S. 86, zweite Zeile). Die *Engstellung* des Aufmerksamkeitsfokus sollte sowohl bei hohem als auch bei geringem Stimuluskontrast erfolgen.

### Fortschritt des zSV

Es zeigten sich in vorangegangenen Studien (Kapitel 5) bereits Hinweise darauf, dass der Progress eines zSV zu unterschiedlichen Akkommodationen der Fokusgröße führt. Semiopake Zentralskotome führten zu kleineren Sakkadenamplituden mit sinkendem Stimuluskontrast, wohingegen opake Zentralskotom größere Amplituden bedingten (Cornelissen et al., 2005). Beide Ergebnisse unterstützen die *Gradientenhypothese* (relative Skotome: kleine Foki; absolute Skotome: große Foki).

In der vorliegenden Arbeit wurden daraus resultierend die folgenden Forschungsfragen zentriert:

[2] Der Sehschärfegradient verläuft hier also von peripher nach zentral.

> Ist die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus an den Fixationsort gekoppelt oder stellt sie einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus dar (*Fixationsorthypothese* versus *Gradientenhypothese*)?
>
> Wie groß stellen AMD Patienten in verschiedenen Stadien der Erkrankung den Aufmerksamkeitsfokus (Einfluss der Opazität zentraler Skotome)?

## 11.4 Empirischer Teil

Um diese Fragestellungen zu beantworten, wurden zwei Klassen von Experimenten durchgeführt. Zum einen wurden zwei Experimente mit simulitieren Zentralskotomen bei jungen normalsichtigen Probanden durchgeführt (zSV als Forschungsmethode: Experiment 1 und 2) und zwei Experimente mit einem natürlich entstandenen zSV bei AMD Patienten und entsprechend älteren Probanden (zSV als Forschungsgegenstand: Experiment 3 und 4). Unter diesen vier Experimenten wurden zum anderen zwei Experimente durchgeführt, bei denen die Größe des Aufmerksamkeitsfokus über Augenbewegungsmaße, genauer die Sakkadenamplitude, bestimmt wurde (Experiment 1 und 3). Demgegenüber wurden zwei Experimente durchgeführt, bei denen die Verteilung von Aufmerksamkeit ohne Augenbewegungsparameter bestimmt wurde (Experimente 2 und 4).

### 11.4.1 Zentraler Sehverlust als Forschungsmethode

In Experiment 1 wurden Zentralskotome in drei Ausprägungen (*Gruppe*) simuliert: kein Skotom (*NVL*), semi-opakes Skotom (*CVB*) sowie opakes Skotom (*CVL*). Weiterhin wurde der *Stimuluskontrast* in vier Stufen graduell variiert und ein Zielreiz unter vier, sechs oder acht Ablenkern in einer klassischen visuellen Merkmalssuche präsentiert. Die Suchleistung wurde durch die *Effizienz* (Reaktionszeitanstiege), die *Fokusgröe* (Sakkadenamplituden) sowie die *Systematik* (Mehrfachfixierungen) charakterisiert. Es konnte festgestellt werden, dass Probanden mit einem simulierten semi-opaken Skotom (*CVB*) *ineffizienter*, *unsystematischer* und mit *kleineren Fokusgrößen* suchten, wenn der *Stimuluskontrast* sank. Sie zeigten damit das typische Suchmuster, dass die Kontrollprobanden ohne Skotom (*NVL*) auch präsentierten. Zugleich bestätigte sich die Annahme der quantitativen Veränderungen. Die Probanden mit einem simulierten opaken Skotom (*CVL*) suchten ebenso *ineffizienter* und *unsystematischer* in Akkommodation an einen sinkenden *Stimuluskontrast*. Im Gegensatz zu den anderen beiden Gruppen zeigten sie gleichwohl konstant *große Fo-*

*kusgrößen* in allen Stimuluskontraststufen. Darüber hinaus diskriminierte die *Fokusgröße* am stärksten zwischen den *Gruppen*. Insgesamt waren die veränderten Sakkadenmuster ein Indiz dafür, dass sich, ausgelöst durch das simulierte opake Zentralskotom, tatsächlich die Einstellung des Aufmerksamkeitsfokus adaptiv verändert, um alle potenziellen retinal peripheren Bereiche für die Zielreizentdeckung zu nutzen (*Gradientenhypothese*). Alternativ konnte aber eine *okulomotorische Irritation* aufgrund der kurzfristigen Sichtfeldeinschränkung in Experiment 1 nicht ausgeschlossen werden.

Mit Experiment 2 sollte diese (unerwünschte) Alternativerklärung ausgeschlossen werden. Es wurde geprüft, ob sich die Veränderungen der Aufmerksamkeitsprozesse auch dann finden lassen, wenn keine Augenbewegungen gemacht werden. Darüber hinaus wurde die Akkommodation des Vorgangs, den Aufmerksamkeitsfokus einzustellen, unmittelbar untersucht, indem dessen Größe experimentell manipuliert wurde. Ähnlich wie in Experiment 1 wurde der *Stimuluskontrast* graduell in zwei Stufen variiert. Die Ergebnisse von Experiment 2 bestätigten die Annahme, dass in Anpassung an ein simuliertes opakes Skotom, Zielreize besser erkannt werden, wenn der Fokus *weit* eingestellt ist. Die Ergebnisse der Probanden mit einem semi-opaken Skotom fielen hingegen uneindeutig aus. Sie schienen sowohl in der Lage zu sein, den Fokus auf *eng* einzustellen als auch retinal periphere Bereiche zu nutzen, wenn der Fokus *weit* eingestellt werden sollte.
Simulierte binokulare zentrale Skotome scheinen also dazu zu führen, Aufmerksamkeit auf exzentrische Bereiche auszuweiten. Dies spricht für die Annahmen der *Gradientenhypothese*.

### 11.4.2 Zentraler Sehverlust als Forschungsgegenstand

In Experiment 3 und 4 wurde geprüft, inwiefern sich diese Ergebnisse auf Patienten mit natürlich entstandenen Zentralskotomen übertragen lassen. Es wurden AMD Patienten untersucht, welche sich in unterschiedlichen Stadien der Krankheit befanden und damit unterschiedlich stark ausgeprägte Zentralskotome aufwiesen. In Anlehnung an die Skotomgruppen (*CVB* und *CVL*) in Experiment 1 und 2 sollten zwei Patientengruppen unterschieden werden. Die tatsächlichen ophthalmologischen Charakteristika der Patienten in Experiment 3 (vgl. Abschnitt 9.2, S. 163) ließen diese Gruppenbildung jedoch nicht zu. Daher wurde auf die Auswertung der individuellen Daten zugegriffen. Im vierten Experiment wurden ausschließlich Patienten untersucht, die auf beiden Augen ein opakes Zentralskotom aufwiesen und damit vergleichbar mit der oben beschriebenen *CVL* Gruppe waren. Als Kontrollprobanden dienten jeweils normalsichtige alters-korrelierte Probanden (*AMD0*), welche eine Äquivalenz zu der jüngeren Kontrollgruppe (*NVL*) der ersten beiden

Experimente herstellten. In Experiment 3 wurde ein ähnliches visuelles Suchexperiment wie in Studie 1 mit reduzierten Design (zwei Stufen des *Stimuluskontrastes* und *Objektanzahl*) durchgeführt. Die Suchmuster wurden in Anlehnung an Experiment 1 durch die drei Variablen *Effizienz* (Reaktionszeitanstiege), *Fokusgröße* (Sakkadenamplituden) und *Systematik* (Mehrfachfixierungen) charakterisiert. Das typische Suchmuster wurde für die Kontrollprobanden (*AMD0*) beobachtet. Mit einem sinkenden *Stimuluskontrast* wurde die Suche *ineffizienter* und *unsystematischer*. Außerdem wurden die *Fokusgrößen* kleiner. Die Patienten, die einen vergleichbaren zSV zu den simulierten zSV in Experiment 1 aufwiesen, wurden den zugehörigen simulierten Skotomgruppen des ersten Experiments nach einer Korrektur des Alters anhand der *Fokusgrößen* korrekt zugeordnet. Insbesondere die zwei Patienten mit einem binokularen opaken zSV zeigten große *Fokusgrößen*, auch wenn der *Stimuluskontrast* sankt. Die Patienten, welche bezüglich des zSV nicht mit den Skotomgruppen des Experiments 1 vergleichbar waren, wurden demgegenüber zu der *CVB* Gruppe zugeordnet (mit einer Ausnahme). Alle AMD Patienten suchten wie erwartet *ineffizienter* und *unsystematischer*, wenn der *Stimuluskontrast* sank. Leider erschwerte die Zusammensetzung der Patientenstichprobe sowie die Probleme bei der Blickbewegungsmessung die Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die Fragestellungen.

Diese Kritikpunkte wurden in Experiment 4 beseitigt. Außerdem sollte eine Äquivalenz zu Experiment 2 hergestellt werden. In Experiment 4 wurde ein sogenanntes *Useful Field of View* (UFOV, Ball et al., 1988) verwendet, um die Erkennungsleistung von exzentrisch dargebotenen Reizen als Maß für die Größe des Aufmerksamkeitsfokus heranzuziehen und nicht wie zuvor einen Augenbewegungsparameter (Sakkadenamplituden). Weiterhin wurden nur AMD Patienten untersucht, die auf beiden Augen ein opakes Zentralskotom aufwiesen sowie eine feste periphere Fixation (Pseudofovea) zeigten. Eine Gruppe mit semi-opaken zSV gab es hier nicht. Da die Präsentation der Reize in Abhängigkeit der Pseudofovea der Patienten erfolgte, wurde die Untersuchung monokular durchgeführt. Wie erwartet zeigten die AMD Patienten für alle Targetpositionen und damit für beide Stufen der *Exzentrizität* ähnliche Trefferquoten, während die älteren Kontrollprobanden höhere relative Trefferquoten für zentraler gelegene Reize im Vergleich zu weiter exzentrisch präsentierten Reizen zeigten. Ein Vergleich der beiden *Gruppen* ergab darüber hinaus, dass die Kontrollprobanden nur bei zentralen Zielreizen (*E 1*) bessere Leistungen zeigten als die AMD Patienten. Die individuelle Datenanalyse bestätigte weitgehend die Gruppenmuster. Die Ergebnisse von Experiment 4 gaben demnach auch für Patienten mit natürlich entstandenen Skotomen Hinweise darauf, dass die Annahmen der *Gradientenhypothese* zutreffen. Tabelle 11.1 (S. 235) fasst in Anlehnung an Tabelle 6.1 (S. 93) die wichtigsten Befunde der Experimente zusammen.

## 11.5 Beantwortung der Fragestellung

Wenn man die Ergebnisse der Studien mit den simulierten Skotomen betrachtet (Experiment 1 und 2), kann geschlussfolgert werden, dass die Größe des Aufmerksamkeitsfokus akkommodativ in Abhängigkeit von einen zSV eingestellt wird. Die Opazität eines simulierten Zentralskotoms scheint demnach einen Einfluss zu haben. Simulierte opake Skotome führten zu großen Aufmerksamkeitsfoki bzw. wurden die großen Foki in den Bedingungen besser genutzt, in denen sie experimentell für die Zielreizfindung intendiert waren. Beim Vorliegen von semi-opaken Skotomen traten große und kleine Foki auf, was auf eine flexible Akkommodation schließen lässt. Diese Akkommodationen, gerade bei einem opaken zSV, traten nicht ohne Kosten auf, was vor allem die geringere *Systematik* der Skotomgruppen im Vergleich der Kontrollgruppe in Experiment 1 verdeutlichte. Die Befunde deuten zusammenfassend darauf hin, dass die retinalen Areale für die Zielreizerkennung genutzt werden, welche genug Sehschärfe dafür aufweisen (*Gradientenhypothese*). Indizien für die alternativ dazu formulierte *Fixationsorthypothese* gab es nicht. Die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus scheint also ein vom Fixationsverhalten unabhängiger kognitiver Mechanismus zu sein.
Die Ergebnisse der Patientenstudien (Experiment 3 und 4) deuten eine Bestätigung der Simulationsstudien an. Insbesondere Patienten mit binokularen opaken zSV scheinen den Vorhersagen der *Gradientenhypothese* zu folgen. Eine eindeutige Beantwortung der Fragestellungen lassen die Patientendaten obschon nicht zu. Dies wird im nächsten Abschnitt detaillierter diskutiert.

**Tabelle 11.1.:**
Übersicht über die Ergebnisse

| Experiment | Stichprobe | Fragestellung | Ergebnisse | Diskussion |
|---|---|---|---|---|
| Experiment 1: *Visuelles Suchparadigma* mit simulierten Zentralskotomen | KG: junge Normalsichtige<br>EG: junge Normalsichtige mit simulierten Skotomen (2 Stufen) | Stellt die Größeneinstellung des Aufmerksamkeitsfokus einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus dar?<br>Treffen die Vorhersagen der *Gradientenhypothese* oder der *Fixationsorthypothese* zu? | Die Probanden der *CVL* Gruppe (opakes Skotom) zeigten unabhängig von dem *Stimuluskontrast große Fokusgrößen*. Die *Fokusgröße* diskriminierte am stärksten zwischen den Gruppen. | Die Ergebnisse sprechen für eine *Weitstellung* des Aufmerksamkeitsfokus in Akkommodation an einen opaken zSV (*Gradientenhypothese*).<br>Alternativ könnte eine *okulomotorische Irritation* für die großen Sakkaden verantwortlich gewesen sein. |
| Experiment 2: *Single Fixation Paradigma* mit simulierten Zentralskotomen | KG: junge Normalsichtige<br>EG: junge Normalsichtige mit simulierten Skotomen (2 Stufen) | Sind die Ergebnisse des Experiments 1 durch eine *okulomotorische Irritation* oder tatsächlich durch eine Akkommodation des Aufmerksamkeitsfokus an die simulierten Skotome zu erklären? | Wenn der *Stimuluskontrast* sankt, zeigten die Probanden der Skotomgruppen eine höhere Erkennungsleistung für Zielreize an exzentrischen Positionen als die *NVL* Gruppe (kein Skotom). | Eine *oklulomotorische Irritation* als Alternativerklärung zu den Ergebnissen in Experiment 1 konnte ausgeschlossen werden. |

**Tabelle 11.1.:**
Übersicht über die Ergebnisse (Fortsetzung)

| Experiment | Stichprobe | Fragestellung | Ergebnisse | Diskussion |
|---|---|---|---|---|
| Experiment 3: Visuelle Suche mit AMD Patienten mit Augenbewegung | KG: ältere Normalsichtige<br>PG: AMD Patienten in verschiedenen Stadien | Sind die Befunde des Experiments 1 auf AMD Patienten übertragbar?<br>Findet auch bei AMD Patienten eine Akkommodation des Aufmerksamkeitsfokus durch den zSV statt? | Die Befunde des Experiments 1 konnten nur anhand ausgewählter individueller AMD Patienten geprüft werden.<br>Die Patienten, welche bereits einen opaken zSV auf beiden Augen aufwiesen, zeigten große *Fokusgrößen* und wurden anhand dieser zur *CVL* Gruppe des ersten Experiments zugeordnet. | Indikatoren für eine Akkommodation der Aufmerksamkeit gab es nur bei Patienten mit binokularen opaken Skotomen. Die polymorphe Zusammensetzung der Patientenstichprobe sowie Probleme bei der Blickbewegungsmessung erschwerten die Interpretation der Ergebnisse. |
| Experiment 4: *UFOV* mit AMD Patienten | KG: ältere Normalsichtige<br>PG: AMD Patienten mit binokularen Skotomen | Sind die Befunde des Experiments 2 auf AMD Patienten übertragbar?<br>Zeigen sich unterschiedliche Trefferquoten für die PG im Vergleich zur KG an zentralen bzw. exzentrischen Reizpositionen? | Es zeigten sich unterschiedliche Trefferquoten für PG und KG. Die KG zeigte bessere Leistung für zentral dargebotene Reize als für exzentrisch präsentierte. Für die PG ergaben sich keine Unterschiede bzgl. der Erkennungsleistung in Abhängigkeit der Exzentrizität der Reizdarbietung. | Es gibt auch hier Hinweise darauf, dass für Patienten mit natürlich entstandenen opaken Skotomen, die Annahmen der *Gradientenhypothese* zutreffen. Inwiefern die Akkommodation bonadaptiv für AMD Patienten ist, bleibt offen. |

zSV: zentraler Sehverlust; KG: Kontrollgruppe; EG: Experimentalgruppe; PG Patientengruppe; *UFOV*: *useful field of view*

## 11.6 Simulationsstudie versus Patientenstudie

Durch den Vergleich von Simulationsstudien und Patientenstudien können kurzfristige Akkommodationen von langfristigen Anpassungen an einen zSV aufgedeckt werden. Darüber hinaus können direkte Effekte des zSV von indirekten Einflüssen (z.B. Alter) voneinander getrennt werden.

### 11.6.1 direkte versus indirekte Effekte

#### Einfluss des Alters

Da die AMD erst ab dem 50 Lebensjahr relevant wird, wurden vor allem die Effekte des Alters kontrolliert. Die Kontrollstichprobe des Experiments 3 (*AMD0*, ältere Probanden) brachte ähnliche Ergebnisse hervor wie die des Experiments 1 (*NVL*, junge Probanden). Die Akkommodationsmuster an einen sinkenden *Stimuluskontrast* können als ähnlich bewertet werden, obgleich die älteren Probanden quantitativ andere Variablenwerte aufwiesen (z.B. kleinere Sakkadenamplituden). Dies bestätigte die Ergebnisse früherer Studien (z.B. Munoz et al., 1998; Sharpe & Zackon, 1987). Nach einer Korrektur des Alters unterschieden sich die Kontrollgruppen des ersten und dritten Experiments nicht mehr signifikant voneinander. Auch die Kontrollgruppen in Experiment 2 und 4 zeigten ähnliche Ergebnismuster mit quantitativ schlechteren Werten für die älteren Probanden. Ein direkter Vergleich konnte hier aufgrund der unterschiedlichen Paradigmen allerdings nicht durchgeführt werden.

#### Einfluss der Opazität des zSV

Weiterhin wurde der Einfluss des Progress eines zSV untersucht. Hier wurden auf der Basis von salienzbasierten Modellen unterschiedliche Akkommodationsmuster in Abhängigkeit vom Skotomprogress vermutet. Dies konnte durch die hier durchgeführten visuellen Suchexperimente teilweise bestätigt werden. In den Experimenten 1 und 3 zeigten die Beobachter mit binokularen opaken zSV andere Ergebnismuster als jene mit semi-opaken zSV. Wobei dies für Experiment 3 aufgrund der polymorphen Stichprobe nur andeutungsweise ausgesagt werden kann. Experiment 2 machte hingegen deutlich, dass die Probanden mit einem simulierten semi-opaken Skotom auch in der Lage waren, einen großen Aufmerksamkeitsfokus zu nutzen (besser als die Kontrollprobanden), wenn das dienlich für die Zielreizentdeckung war. Die Opazität könnte also in dem Sinne einen Einfluss auf die Akkommodationsmuster haben, dass ein opaker zSV zu großen Aufmerksamkeitsfoki mit entsprechenden Kosten führt, während bei einem semi-opaken zSV eine flexiblere Ein-

stellung möglich ist. Dies bleibt an dieser Stelle allerdings eine Mutmaßung. Die bereits ausführlich diskutierten Ergebnisse der Cornelissen-Studie deuteten ebenso einen Einfluss des Progresses des zSV an (Erinnerung: Abschnitt 3.2.3, S. 36).
Die Patientendaten scheinen hier insofern eindeutig zu sein, dass Patienten mit einem opaken **binokularen** zSV (weit fortgeschrittener Progress) andere Muster zeigten als die anderen Patienten. Diese Muster deuten eine Weitstellung des Aufmerksamkeitsfokus an. Die anderen Patienten brachten indes keine eindeutigen Ergebnisse hervor. Gründe dafür wurden bereits ausführlich in Kapitel 9 diskutiert. Einer darunter war die polymorphe Zusammensetzung der Patientenstichprobe in Experiment 3. In Experiment 4 wurde dieser Kritikpunkt zwar berücksichtigt, allerdings keine Patienten erhoben, welche einen weniger fortgeschrittenen zSV aufwiesen. Inwiefern also ein natürlich entstandener semiopaker zSV zu einer flexiblen Einstellung des Aufmerksamkeitsfokus (wie in Experiment 2) oder *nur* zu einer Verkleinerung führt (wie in Experiment 3), bleibt hier unbeantwortet. Zusammengefasst scheint der Progress eines zSV einen Einfluss auf die Akkommodation des Vorgangs, die Größe des Aufmerksamkeitsfokus einzustellen, zu haben. Darüber hinaus können salienzbasierte Modelle und Annahmen über retinale Mechanismen (*Gradientenhypothese*) die unterschiedlichen Einflüsse vorhersagen. Demzufolge erscheint eine Beachtung des Fortschrittes eines zSV (simuliert oder natürlich) zentral für die Interpretation von entsprechenden Studienergebnissen.
Weitere indirekte Effekte wie z.B. die unterschiedlichen alltäglichen Anforderungen (Berufstätigkeit oder Rentnerstatus, Anzahl der PRLs) wurden hier nicht kontrolliert. Ein Einfluss dieser Effekte konnte hier demnach nicht ausgeschlossen werden.

### 11.6.2 kurzfristige versus langfristige Effekte

Fornos et al. (2006) berichteten unterschiedliche Anpassungen in einer Simulationsstudie in Abhängigkeit von der Konfrontationsdauer mit einem simulierten zSV (vgl. Kapitel 3). In den ersten Sitzungen ihrer Trainings-Lesestudie berichteten die Autoren eine erhöhte Anzahl und Länge vertikaler Sakkaden, welche sie auf den Versuch zurückführten, die Wörter foveal zu fixieren und dann den Blick wieder zurück auf den Bildschirm zu lenken. Im Verlaufe der Sitzungen verschwanden diese großen vertikalen Versionen, einhergehend mit einer Reduktion korrektiver Sakkaden. Ein gegenläufiger Verlauf zeigte sich bei den horizontalen Augenbewegungen. Deren Amplitude stieg im Laufe des Experiments um circa 2° an. Diesen Anstieg interpretierten Fornos et al. (2006) im Sinne einer Anpassung des okulomotorischen Systems an die exzentrische Lesebedingung. Die vorliegenden Experimente 1 und 2 brachten gleichfalls kurzfristige Akkommodationsmuster an einen simulierten zSV hervor. Interpretiert wurden beispielsweise die größeren Sakkademamplituden im ersten Experiment mit dem Versuch, retinal intakte, periphere Bereiche für eine

Zielreizidentifikation zu nutzen und den Aufmerksamkeitsfokus *weit* einzustellen (*Gradientenhypothese*). Das Akkommodationsmuster der Patienten (Experimente 3 und 4) fiel hingegen nicht so eindeutig aus. Auf der einen Seite zeigten Patienten, mit bereits sehr fortgeschrittenen Skotomen (binokulare opake Skotome) ebenfalls größere *Fokusgrößen* als die anderen Patienten. Auf der anderen Seite waren die *Fokusgrößen* nicht so groß wie in der Simulationsstudie (vgl. Experiment 1 und 3) bzw. die Erkennungsleistungen für exzentrisch dargebotene Reize nicht so gut (vgl. Experiment 2 und 4). Dies könnte entweder bedeuten, dass natürliche (langfristige) Skotome nicht zu den hier beschriebenen Akkommodationen der Fokusgröße führen. Oder es kann bedeuten, dass die Kosten höher als bei einem kurzfristigen zSV sind. Die zuletzt genannte Alternative halte ich für wahrscheinlicher, da die Patienten mit binokularen opaken Skotomen die entsprechenden Akkommodationen zeigten. Außerdem wurde oben bereits das Alter als Ursache für quantitative Unterschiede diskutiert. Auch die bisherige Literatur kann in diesem Punkt keine Klarheit schaffen. Gerade für die Sakkadenmuster und die sich daraus ergebenden Interpretationen gibt es eine Reihe kontroverser Befunde (vgl. Abschnitt 3.2.3, S. 36).

## 11.7 Offene Fragen

### 11.7.1 Manipulation der Größe des Aufmerksamkeitsfokus

In Anlehnung an Abschnitt 6.2.2 (S. 76) wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, eine einheitliche Verteilung von Aufmerksamkeit zu erzeugen. Die entsprechenden Annahmen wurden ebenso im Bild eines uniformen Fokus getroffen. Die Vermutung durch die experimentellen Variationen die Größe des Aufmerksamkeitsfokus uniform ablesen zu können (Sakkadenamplituden: Experimente 1 und 3) bzw. manipulieren zu können (Experimente 2 und 4) kann hier leider nur implizit bleiben. Inwiefern die Uniformitätsannahme zutrifft, war nicht Gegenstand der Arbeit und wurde daher nicht geprüft. Ebenso wenig wurde diskutiert, welche Auswirkungen es auf die formulierten Annahmen hätte, wenn sich Aufmerksamkeit in Form multipler Foki verteilen würde. Offen ist hier insbesondere die Frage, was dies für Konsequenzen beim Vorliegen eines zSV hätte.

### 11.7.2 Maßeinheit für den Aufmerksamkeitsfokus

In der vorliegenden Arbeit wurden Sakkaden mit dem Aufmerksamkeitsfokus assoziiert. Dabei wurde die Sakkadenamplitude als Maß für die Größe des Fokus gewählt. In einer regelmäßig angeordneten visuellen Suchaufgabe erscheint dies plausibel (Müller-Plath, 2000). Dieses Vorgehen ist allerdings nicht unkritisch. Bertera und Rayner (2000) berichteten, dass die Sakkadenamplitude lediglich zwischen $50\% - -60\%$ der Suchspanne aufklärt. Bei einem Übertrag auf die Größe des Aufmerksamkeitsfokus könnten die Sakkadenamplituden weiter an Aussagekraft (Varianzaufklärung) verlieren. Weiterhin fällt eine Generalisierung schwer, da die Sakkadenamplitude, aber auch die Größe des Aufmerksamkeitsfokus selbst von zahlreichen Faktoren abhängt (z.B. Anzahl und Symmetrie der dargebotenen Reize). Daher wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, die Reichweite der Aufmerksamkeit unabhängig von Augenbewegungen zu bestimmen (Experiment 2 und 4). Die Ergebnisse gaben deutliche Hinweise darauf, dass die Schlüsse eines *weit* eingestellten Aufmerksamkeitsfokus (gezogen aus konstant großen Sakkadenamplituden in Experiment 1) beim Vorliegen eines simulierten opaken Zentralskotoms unabhängig von der Messung des Fokus zutreffend sind (Experiment 2). Auch Experiment 4 liefert Hinweise in diese Richtung.

### 11.7.3 Nutzen und Kosten der Akkommodation des Vorgangs, den Aufmerksamkeitsfokus groß einzustellen

In der vorliegenden Arbeit wurde in Anlehnung an salienzbasierte Augenbewegungs- und Aufmerksamkeitsprozesse sowie der *Gradientenhypothese* vorgeschlagen, dass beim Vorliegen eines opaken Zentralskotoms der Aufmerksamkeitsfokus groß gestellt wird. Retinal sollten damit alle potentiell intakten, peripheren Bereiche zur Zielreizerkennung genutzt werden. Die Ergebnisse der Experimente 1 und 2 scheinen diese Annahme zu bestätigen. Insbesondere in Experiment 2, in dem Vorgang der Einstellung des Fokus experimentell manipuliert wurde, zeigte sich ein Vorteil für Probanden mit einem opaken Zentralskotom, wenn der Fokus *weit* eingestellt werden sollte. Inwiefern dies tatsächlich ein bonadaptiver Mechanismus für AMD Patienten sein könnte, ist indes hier schwieriger zu beantworten. Es zeigten sich keine eindeutigen Sakkadenmuster für die Patientenstichprobe, wenngleich Experiment 3 ebenso auf eine Großstellung hindeutet. Gleichfalls stellt sich die Frage, von welchen Faktoren die Adaptivität solcher großen Foki abhängt und mit welchen Kosten sie verbunden sind. Wenn Patienten eine feste Pseudofovea ausgebildet haben, mit welcher sie stabil in verschiedenen Aufgaben fixieren, ist es eventuell effizienter die Aufmerksamkeit auf dieses kleine Areal zu lenken (*Fixationsorthypothese*). Wenn allerdings noch keine feste Pseudofovea ausgebildet ist oder verschiedene PRLs variabel eingesetzt werden, dann

könnte eine weite Streuung der Aufmerksamkeit auf verschiedene periphere Areale sinnvoll sein (*Gradientenhypothese*). In Experiment 4 hatten alle Patienten gelernt, stabil mit einer Pseudofovea zu fixieren und diese Pseudofovea für verschiedene Aufgaben einzusetzen. Dennoch zeigten sie keine besseren Leistungen für Reize, die räumlich näher an der Pseudofovea lagen als für jene, die weiter entfernt präsentiert wurden. Dennoch könnte eine direkte Präsentation der Reize in der Pdeudofovea andere Ergebnisse hervorbringen. Daher kann dieser Einflussfaktor hier nicht ausgeschlossen werden.
In diesem Zusammenhang stellt sich für mich unmittelbar die Frage, inwiefern Effizienzkriterien, welche für Normalsichtige beispielsweise bei der visuellen Suche verwendet werden, für AMD Patienten zutreffend sind. *Effiziente* und *ineffiziente* Suche werden vorwiegend synonym mit *paralleler* und *serieller* Suche verwendet (Treisman & Gelade, 1980). Ich finde es schwierig nur dann von einer effizienten Suche zu sprechen, wenn sie parallel ist oder sich die Reaktionszeitverläufe flach und unabhängig von der Displaygröße zeigen. Das Wort Effizienz kennzeichnet das Verhältnis von Nutzen und Aufwand. Wenn der Stimuluskontrast des Zielreizes zu den Ablenkern groß ist, kann ein Beobachter ohne großen Aufwand (z.B. in einem Suchschritt) den größtmöglichen Nutzen (eine sichere und schnelle Targeterkennung) erreichen. Wenn dieser Stimuluskontrast geringer ausfällt, ist dieses Verhältnis schon schwieriger zu bestimmen. Setzt man den Aufwand klein an, könnte der Nutzen leiden und umgekehrt. Auch die vorliegenden Ergebnisse haben deutlich gezeigt, dass die Akkommodation des Aufmerksamkeitsfokus Kosten (z.B. unsystematischere Suche) verursacht. Die Frage ist, wie man diese Kosten bewertet. Es kann in einer Situation sehr effizient sein, ein Display schrittweise abzusuchen und sehr ineffizient in einer anderen. Damit ist die Frage, ob eine enger oder ein weiter Fokus bonadaptiv ist, ebenso wenig klar zu beantworten. Für Normalsichtige scheint ein enger Fokus bei einem geringen Stimuluskontrast gut angepasst zu sein, um das Target zu finden. Für Probanden mit einem opaken binokularen Sehverlust hingegen ist dieser Zusammenhang nicht so eindeutig. Hier könnte ein Anschlussexperiment Aufschluss geben (vgl. erste Zeile Tabelle 11.2, S. 246). Die Ausführungen unterstreichen in meinen Augen den Ausdruck: „die Fähigkeit, die Reichweite der Aufmerksamkeit zu verändern“ (Müller-Plath, 2000), da in ihr der Aspekt zum Ausdruck kommt, dass es je nach Situation bonadaptiv sein kann, den Fokus *weit* oder *eng* zu stellen.

### 11.7.4 Wer kann den Fokus weit stellen?

Daran schließt sich unmittelbar die Frage an, ob es Personen gibt, denen der Vorgang, den Aufmerksamkeitsfokus weit einzustellen, besonders gut gelingt. Und falls dies der Fall wäre, würden diese Personen dann besser mit einem zSV umgehen können? Hinweise zur Beantwortung dieser Frage findet man in kulturübergreifenden Studien, in Untersuchungen mit Videospielern sowie tauben Probanden. So zeigten Befunde, dass Videospielen zu einer verbesserten peripheren Wahrnehmung führt (Buckley, Codina, Bhardwaj & Pascalis, 2010). Ebenso wiesen taube Probanden bessere Erkennungsleistungen für exzentrisch dargebotene Reize (Buckley et al., 2010). Darüber hinaus wurde insbesondere bei asiatischen Beobachtern eine weitere Streuung der Aufmerksamkeit beobachtet. Der folgende Exkurs stellt die zentralen Befunde des zuletzt genannten Forschungsfeldes vor.

**Exkurs: Aufmerksamkeit und visuelle Suche in Abhängigkeit von der Kultur**

Empirische Befunde

Ich möchte hier den Vergleich zwischen europäisch-amerikanisch-westlichen Kulturen mit asiatisch-östlichen bezüglich der Verteilung von Aufmerksamkeit fokussieren. Eine Zusammenfassung von kulturellen Unterschieden sowie möglichen zugrunde liegenden Mechanismen lieferte die Studie von Nisbett und Miyamoto (2005). Westliche Beobachter schenken fokalen Objekten mehr Aufmerksamkeit, östliche hingegeben mehr der Objektumgebung. Ji, Peng und Nisbett (2000) zeigten, dass asiatische Bobachter mehr Fehler in einem Test machten, in dem es darauf ankam, die Drehung eines Stäbchens unabhängig von der Rotation des Rahmens, in dem sich das Stäbchen befand, zu beurteilen. Die Autoren konkludierten, dass die asiatischen Versuchsteilnehmer den Rahmen schlechter ignorieren konnten. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich bei Untersuchungen, welche das *change blindness* Paradigma benutzten (z.B. Boduroglu, Shah & Nisbett, 2009; Masuda & Nisbett, 2006). Während westliche Probanden mehr Veränderungen von fokalen Objekten entdeckten, fanden östliche mehr im visuellen Hintergrund oder zwischen den Relationen von Objekten. Weitere Studien berichteten darüber hinaus, dass östliche Betrachter mehr Objekte vom visuellen Feld beachteten und stärker einen gesamten visuellen Eindruck speicherten als westliche, welche mehr auf saliente Einzelheiten achteten (z.B. Masuda & Nisbett, 2006).

Unterstützt werden diese Befunde durch Unterschiede bei der Bewegung der Augen. Chiu (1972) beobachtete schnellere und längere Fixationen auf zentrale Objekte bei ame-

rikanischen Beobachtern und mehr Blickwechsel zwischen verschiedenen Objekten und Sakkaden auf den visuellen Hintergrund bei den chinesischen Versuchspersonen. In einer aktuelleren Studie wurden Sakkadentrajektorien in einer *attentional capture* Aufgabe untersucht (Petrova, Wentura & Fu, 2013). Die chinesischen Probanden zeigten eine deutlichere Krümmung in die entgegengesetzte Richtung des Distraktors als die deutschen. Petrova et al. interpretieren dieses Ergebnis im Sinne einer stärkeren initialen Aktivierung und anschließenden Inhibierung des nicht zu beachteten Reizes. Kritisch bemerken möchte ich an dieser Stelle, dass die Ergebnisse sich nicht für alle Distraktor- und Target-Konstellationen bestätigt haben. Außerdem konnten andere Autoren im Gegensatz dazu keine Unterschiede feststellen, welche durch Augenbewegungen offensichtlich geworden wären (Evans, Rotello, Li & Rayner, 2009; Rayner, Castelhano & Yang, 2009). Petrova et al. (2013) betrachteten nach eigenen Angaben sehr frühe Aufmerksamkeitsprozesse und ausschließlich die Bewegung der ersten Sakkade, während die anderen Studien zeitlich spätere Aufmerksamkeitsereignisse abbildeten. Es scheint demnach bisher ungeklärt, welche Aspekte der Aufmerksamkeit sich unterscheiden.

Weitere Unterstützung für kulturell bedingte Unterschiede bezüglich der Verteilung von Aufmerksamkeit stammt von der Messung neuronaler Aktivität. Östliche und westliche Versuchsteilnehmer sollten die Länge einer Linie in einer vom Kontext unabhängigen und in einer vom Kontext abhängigen Bedingung schätzen. Die östlichen Beobachter zeigten mehr neuronale Aktivität in frontalen und parietalen Gebieten bei der vom Kontext unabhängigen Bedingung und für die westlichen Betrachter war das gegenteilige Muster zu beobachten (Hedden, Ketay, Aron, Markus & Gabrieli, 2008). Es wurde geschlussfolgert, dass für genau die Aufgabe jeweils mehr Aktivierung notwendig war, die ursprünglich nicht präferiert wurde. Han und Northoff (2008) präsentierten eine Zusammenfassung weiterer Befunde, welche diverse kognitive Funktionen mit neuronaler Bildgebung in Verbindung setzten und berichteten zahlreiche Unterschiede zwischen östlichen und westlichen Untersuchten.

In einigen der eben benannten Studien wurde geschlussfolgert, dass die Aufmerksamkeit von östlichen Betrachtern weiter verstreut sei als die von westlichen (z.B. Boduroglu et al., 2009; Nisbett & Miyamoto, 2005). Boduroglu et al. (2009) prüften dies durch verschiedene Variationen einer *change detection* Aufgabe. Die Probanden sollten entscheiden, ob ein Objekt seine Farbe von einem Display zu einem darauffolgenden verändert hat. Die Objekte konnten dabei in dem zweiten Display gleich angeordnet sein, gleich angeordnet sein und weiter auseinander liegen, gleich angeordnet sein und näher zusammen liegen oder eine randomisierte Anordnung besitzen. Asiatische Teilnehmer zeigten bessere Erkennungsleistung als amerikanische, wenn die Anordnung gleich war, die Objekte aber

weiter auseinander lagen. Das gegenteilige Muster bot sich dar, als die Objekte näher zusammen gerückt waren. Außerdem waren die asiatischen Beobachter langsamer in einer Aufgabe, in der ein zentrales Objekt erkannt werden sollte. Die Autoren konkludierten, dass östliche Beobachter mit einer weit verstreuten Aufmerksamkeit ihre Umwelt scannen würden, während westliche Betrachter ihre Aufmerksamkeit schmaler, zentraler fassten. Petrova et al. (2013) schlussfolgerten aus der oben bereits beschriebenen Studie ebenso ein größeres Aufmerksamkeitsfenster für östliche Beobachter, da diese initial den Distraktor stärker mitverarbeiten würden.

### Mechanismen

Es werden momentan drei Erklärungsmodelle für die eben beschriebenen Unterschiede angeboten (z.B. Nisbett & Miyamoto, 2005). Eine Erklärung wird in Unterschieden der *sozialen Struktur* gesucht. Individuen, welche in komplexen, gegenseitig abhängigen und stark auf soziale Normen zentrierten Gesellschaften lebten, wären darauf angewiesen, Beziehungen und Kontexte zu beachten. Für Individuen, welche hingegen in einer Gesellschaft lebten, in welcher der Fokus auf das eigene Leben und individuelle Werte gelegt wird, würden Objekte und die eigenen Ziele im Vordergrund stehen. Diese Erklärung wird durch Erkenntnisse von Vergleichen zwischen Nord- und Süditalienern sowie Ost- und Westeuropäern, in denen sich ähnliche Zusammenhänge zeigten, gestützt (Nisbett & Miyamoto, 2005). Interessanter Weise konnten die sozialen Systeme via *priming* auch temporär ausgelöst werden. Je nach kulturellem *prime* (die amerikanische Flagge oder der chinesische Drache) wurden in einer Folgeaufgabe bestimmte Dinge eher auf die handelnde Person oder auf den Kontext attribuiert (Hong, Morris, Chiu & Benet-Martínez, 2000). Die zweite Erklärungsebene hängt gewiss mit der sozialen Struktur zusammen. Sie setzt innerfamiliär bei der *Erziehung* an. Amerikanische Mütter benannten Spielzeuge und deren Eigenschaften häufiger als asiatische Mütter, welche ihre Kinder eher mit sozialen Gewohnheiten beschäftigten Nisbett und Miyamoto (2005). In einer frühen Studie zeigte Chiu (1972), dass chinesische und amerikanische Kinder ab dem Alter von fünf Jahren Objekte (Bilder eines Mannes, einer Frau und eines Kindes) unterschiedlich kategorisieren würden. Während chinesische Kinder die Objekte nach Beziehungskategorien (Frau und Kind, im Sinne von Mutter und Kind) ordneten, kategorisierten die amerikanischen Kinder nach analytischen Merkmalen (Mann und Frau sind Erwachsene). Als dritte Erklärungsebene wird das tägliche Umfeld angeführt (Nisbett & Miyamoto, 2005). Miyamoto, Nisbett und Masuda (2006) ließen 1000 Fotografien von vergleichbaren Szenen aus Japan und Amerika subjektiv und objektiv beurteilen und stellten fest, dass die

japanischen Szenen komplexer waren und mehr Objekte enthielten. Auch hier waren *priming* Experimente in dem Sinne erfolgreich, als das, in einer darauffolgend dargebotenen *change detection* Aufgabe, das Präsentieren von amerikanischen Szenen zur häufigeren Entdeckung zentraler Objekte und das Betrachten von japanischen Szenen zu einer höheren Erkennungsleistung von peripheren Elementen führte (Masuda & Nisbett, 2006; Miyamoto et al., 2006).

### Kulturelle Besonderheiten in der para-fovealen Wahrnehmung

Im Zusammenhang mit einer möglichen weiteren Aufmerksamkeitsverteilung östlicher Beobachter steht die Vermutung, dass östliche Beobachter extra-foveale Informationen bei der Objekterkennung stärker nutzen als westliche. Die Diskrimination von Gesichtsausdrücken beispielsweise wird als *foveale* Aufgabe charakterisiert, wobei die Augenpartie eine wichtige Rolle spielt. Studien mit westlichen Beobachteten demonstrierten, dass westliche Beobachter foveal die Augen in einer solchen Aufgabe fixierten. Östliche Betrachter hingegen schauten häufiger die Nase an. Die Ergebnisse könnten dafür sprechen, dass östliche Beobachter extra-foveale Informationen nutzten, um die Gesichtsausdrücke zu diskriminieren (z.B. Miellet et al., 2010). Diese Vermutung wurde sowohl mit einer Reduzierung des Gesichtsfeldes (*moving window technique*) als auch mit einer Maskierung des zentralen Gesichtsfeldes (*simulierte Skotome*) genauer untersucht (Caldara, Zhou & Miellet, 2010; Miellet, Lao, Zhou, He & Caldara, 2012). Caldara et al. (2010) reduzierten den sichtbaren Bildausschnitt auf 2°, 5° und 8° und stellten keine Unterschiede in den Fixations- und Verhaltensdaten zwischen westlichen und östlichen Beobachtern fest, wenn der Ausschnitt klein war. In der 8° Bedingung hingegen fixierten östliche Beobachter häufiger die Nase, während westliche Betrachter keine Unterschiede zu den anderen *moving window* Bedingungen zeigten. Miellet und Kollegen maskierten den zentralen Gesichtsfeldbereich (2°, 5° und 8°) und berichteten, eine Anpassung der westlichen Augenbewegungen in Richtung des Musters, welches die östlichen Beobachter zeigten (Miellet et al., 2012). Zusammenfassend scheinen westliche und östliche Beobachter keine unterschiedlichen Augenbewegungsmechanismen per se zu zeigen, sondern unterschiedliche Strategien je nach Wahrnehmungssituation. Wenn lediglich zentrale Informationen zur Verfügung stehen, werden diese gleichermaßen genutzt. Wenn ein weites Gesichtsfeld vorliegt, nutzen östliche Beobachter stärker extra-foveale Informationen als westliche Beobachter. Wenn das Gesichtsfeld im Zentrum eingeschränkt ist, zeigen westliche Beobachter ähnliche Augenbewegungsmuster wie östliche, so dass man in diesen Situationen auch bei ihnen eine verstärkte extra-foveale Informationsnutzung vermuten kann (Miellet et al., 2012).

Es gibt demzufolge einige Hinweise darauf, dass östliche Beobachter ihre Aufmerksamkeit *weiter* verteilen sowie verstärkt para- und perifoveale Areale zur Reizidentifikation nutzen. Daraus leitet sich eine interessante Frage ab: Inwiefern gelingt östlichen Beobachtern eine *Weitstellung* des Aufmerksamkeitsfokus in Anpassung an einen zSV besser als westlichen Betrachtern. Diese Frage erscheint insbesondere vor dem Hintergrund wichtig, dass man eventuell mehr über natürlich angewendete adaptive Strategien im Umgang mit einem zSV lernen kann. Genauer soll dies in einem Anschlussexperiment untersucht werden. Tabelle 11.2 (S. 246, zweite Zeile) gibt eine Übersicht über die Erwartungen dieses Anschlussexperiments.

**Tabelle 11.2.:**
Übersicht über das experimentelle Vorgehen der Anschlussexperimente

| Experiment | Stichprobe | Fragestellung | Erwartung | Bedeutung |
|---|---|---|---|---|
| Anschluss-experiment 1: Nutzen und Kosten von der Akkommodation verschiedener Fokusgrößen | KG: ältere Normalsichtige PG: AMD Patienten in verschiedenen Stadien | Wie stellen sich Kosten und Nutzen verschiedener Größen des Aufmerksamkeitsfokus für AMD Patienten dar? | Für AMD Patienten mit binokularen zSV ergibt ein großer Aufmerksamkeitsfokus ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis als ein kleiner Fokus. | Eine direkte Überprüfung der Kosten und Nutzen verschiedener Akkommodationen der Fokusgröße liefern direkte Implikationen für Blickbewegungstrainings. |
| Anschluss-experiment 2: der Aufmerksamkeitsfokus mit simulierten Skotomen im Kulturvergleich | EG1: westliche, junge, normalsichtige Probanden EG2: östliche, junge, normalsichtige Probanden | Gelingt es östlichen Beobachtern besser ihren Aufmerksamkeitsfokus auf *weit* zu stellen, wenn sie einem opaken zSV ausgesetzt sind? | Östliche Probanden können ihren Fokus *größer* stellen und somit besser mit einem opaken zSV umgehen. | Insofern östliche Beobachter tatsächlich besser mit einem zSV umgehen könnten, könnte das Implikationen für Patienten mit zSV (z.B. AMD Patienten) haben. |

zSV: zentraler Sehverlust; KG: Kontrollgruppe; EG: Experimentalgruppe; PG: Patientengruppe

### 11.7.5 Generalisierung

Die Bindung des Aufmerksamkeitsfokus an Eigenschaften der Retina (*Gradientenhypothese*) ist natürlich auf Situationen eingeschränkt, in denen die Eigenschaften der Peripherie zum Erkennen eines Stimulus beitragen können. Für die Erkennung von Farbe oder bestimmten anderen Reizeigenschaften wäre eine Ausdehnung des Aufmerksamkeitsfokus auf retinal peripheren Bereiche gewiss maladaptiv. Denn auch wenn neuronale Veränderungen dazu führen sollten, dass periphere Bereiche zu mehr Arealen im visuellen Kortex projizieren, sind die Funktionen der retinalen Zellen in der Peripherie eingeschränkt (z.B. keine Zapfen für die Farbwahrnehmung).
Die Ergebnisse aus den Simulationsstudien konnten die Patientenresultate nicht zufriedenstellend vorhersagen. Auch wenn die Resultate der binokular betroffenen Patienten ähnlich der simulierten opaken Skotomgruppe waren, kann eine Generalisierung adaptiver Verhaltensweisen auf AMD Patienten hier nicht empfohlen werden. Weiterhin gibt es neben der AMD auch weitere Erkrankungen, welche zu zentralen Gesichtsfeldausfällen führen. Rückschlüsse auf solche Patienten können aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit gleichwohl nicht gewonnen werden. An dieser Stelle sei auf Arbeiten verwiesen, welche beispielsweise Glaukompatienten untersuchten (z.B. Smith, Crabb & Garway-Heath, 2011). Für die Untersuchung adaptiver Prozesse, ausgelöst durch einen zSV, wäre zukünftig zu überlegen, die krankheitsorientierte Patientenauswahl durch eine symptomgeleitete Herangehensweise abzulösen.

## 11.8 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurden attentionale sowie okulomotorische Salienzmodelle, verknüpft mit Metaphern von Aufmerksamkeit, zugrunde gelegt, um attentionale Prozesse bei zentralem Sehverlust zu untersuchen. Die Mehrheit der Ergebnisse deutet darauf hin, dass unterschiedlich stark ausgeprägte zentrale Skotome zu unterschiedlichen Fokusgrößen führen, allerdings auf dem gleichen retinalen Mechanismus beruhen (*Gradientenhypothese*). Damit expliziert die vorliegende Arbeit eine stark verankerte Vorstellung, welche Jonides trefflich so formulierte: „[...], we may view the mind's eye as analogous to the body's eye: It has a field of concentrated processing like the fovea, and it is free to traverse a wide range of available spatial locations."(Jonides, 1983, S.250) und erweitert sie darüber hinaus auf die Fälle einer beeinträchtigten bzw. defekten fovealen Wahrnehmung.

**Abkürzungen**

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

AMD0: Kontrollprobanden ohne Skotom

AMD2: AMD Patienten mit binokularen opaken Skotom

CVB: semi-opakes Skotom; central vision blur

CVL: opakes Skotom; central vision loss

NVL: kein Skotom; no central vision loss

PRL: *preferred retinal locus*

zSV: zentraler Sehverlust

# 12

# Literaturverzeichnis


Abrams, R. A., Meyer, D. E. & Kornblum, S. (1989). Speed and accuracy of saccadic eye movements: Characteristics of impulse variability in the oculomotor system. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15* (3), 529–543.

*Age-related eye disease study 1.* (2011). Zugriff am 2013.09.29 auf `http://www.nei.nih.gov/amd/summary.asp`

*Age-related eye disease study 2.* (2013). Zugriff am 2013.09.29 auf `http://www.areds2.org/`

Alberti, C. F., Horowitz, T., Bronstad, P. M. & Bowers, A. R. (2014). Visual attention measures predict pedestrian detection in central field loss: A pilot study. *PLoS ONE*, *9*, e89381. doi: 10.1371/journal.pone.0089381

Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action. In H. Heuer & A. F. Sanders (Hrsg.), *Beyond capaticity: A functional view of attention.* Hillsdale, England: Lawrence Erlbaum Associates.

Allport, A. (1993). Attention and control: Have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-five years. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and Performance XIV : Synergies in Experimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience.* Oxford, UK: MIT Press.

Altpeter, E., Mackeben, M. & Trauzettel-Klosinski, S. (2000). The importance of sustained attention for patients with maculopathies. *Vision Research*, *40* (10-12), 1539–1547.

Ansorge, U. & Leder, H. (2011). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit.* Berlin, Deutschland: Springer.

Arundale, K. (1978). An investigation into the variation of human contrast sensitivity with age and ocular pathology. *British Journal of Ophthalmology*, *62* (4), 213–215.

Awh, E., Belopolsky, A. V. & Theeuwes, J. (2012). Top-down versus bottom-up attentional control: A failed theoretical dichotomy. *Trends in Cognitive Sciences*, *16* (8), 437–443. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2012.06.010

Awh, E. & Pashler, H. (2000). Evidence for split attentional foci. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26* (2), 834.

Bach, M., Schmitt, C., Kromeier, M. & Kommerell. (2001, Aug). The freiburg stereoacuity test: Automatic measurement of stereo threshold. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, *239* (8), 562–566.

Bacon, W. F. & Egeth, H. E. (1994, May). Overriding stimulus-driven attentional capture. *Perception and Psychophysics*, *55* (5), 485–496.

Baker, G. A. (1934). Transformation of non-normal frequency distributions into normal distributions. *The Annals of Mathematical Statistics*, *5* (2), 113–123.

Ball, K. K., Beard, B. L., Roenker, D. L., Miller, R. L. & Griggs, D. S. (1988). Age and visual search: Expanding the useful field of view. *Journal of the Optical Society of America A*, *5* (12), 2210–2219.

Baseler, H. A., Gouws, A., Haak, K. V., Racey, C., Crossland, M. D., Tufail, A., ... Morland, A. B. (2011, May). Large-scale remapping of visual cortex is absent in adult humans with macular degeneration. *Nature Neuroscience*, *14* (5), 649–655. doi: doi.org/10.1038/nn.2793

Batsakes, P. J. & Fisk, A. D. (2000). Age-related differences in dual-task visual search: Are performance gains retained? *Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *55* (6), 332–342.

Bell, A. H., Everling, S. & Munoz, D. P. (2000). Influence of stimulus eccentricity and direction on characteristics of pro- and antisaccades in non-human primates. *Journal of Neurophysiology*, *84* (5), 2595–2604.

Bellmann, C., Feely, M., Crossland, M. D., Kabanarou, S. A. & Rubin, G. S. (2004). Fixation stability using central and pericentral fixation targets in patients with age-related macular degeneration. *Ophthalmology*, *111* (12), 2265–2270. doi: 10.1016/j.ophtha.2004.06.019

Bertera, J. H. (1988). The effect of simulated scotomas on visual search in normal subjects. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *29* (3), 470–475.

Bertera, J. H. & Rayner, K. (2000). Eye movements and the span of the effective stimulus in visual search. *Perception and Psychophysics*, *62* (3), 576–585.

Bex, P. J., Dakin, S. C. & Simmers, A. J. (2003). The shape and size of crowding for moving targets. *Vision Research*, *43* (27), 2895–2904.

Bird, A. C., Bressler, N. M., Bressler, S. B., Chisholm, I. H., Coscas, G., Davis, M. D., ... Klein, R. (1995). An international classification and grading system for age-related maculopathy and age-related macular degeneration. *Survey of Ophthalmology*, *39* (5), 367–374.

Blake, R. & Fox, R. (1973). The psychophysical inquiry into binocular summation. *Perception and Psychophysics*, *14* (1), 161–185. doi: 10.3758/BF03198631

Blanchard, H. E. (1987). The effects of pronoun processing on information utilization during fixations in reading. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *25* (3), 171–174.

Boduroglu, A., Shah, P. & Nisbett, R. E. (2009). Cultural differences in allocation of attention in visual information processing. *Journal of Crosscultural Psychology*, *40* (3), 349–360. doi: 10.1177/0022022108331005

Bono, F., Oliveri, R. L., Zappia, M., Aguglia, U., Puccio, G. & Quattrone, A. (1996). Computerized analysis of eye movements as a function of age. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *22* (3), 261–269.

Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, *10* (4), 433–436.

Broadbent, D. E. (1966). *Perception and communication*. Oxford, UK: Pergamon Press.

Broadbent, D. E. (1971). Cognitive psychology: Introduction. *British Medical Bulletin*, *27* (3), 191–194.

Brown, D. M., Michels, M., Kaiser, P. K., Heier, J. S., Sy, J. P., Ianchulev, T. & A. N. C. H. O. R. S. G. (2009, Jan). Ranibizumab versus verteporfin photodynamic therapy for neovascular age-related macular degeneration: Two-year results of the anchor study. *Ophthalmology*, *116* (1), 57–65. doi: 10.1016/j.ophtha.2008.10.018

Büttner, S. (2013). *Ignaz Paul Vital Troxler: Das Gemüt als Quelle aller Geistgefühle und Herzensgedanken.* Zugriff am 2013.01.10 auf `http://www.cyclopaedia.de/link?u=http%3A%2F%2Fwww.denkinform.online.de%2Ftexte%2Ftroxler_04.pdf&b=Paul-Vital-Ignaz-Troxler`

Buckley, D., Codina, C., Bhardwaj, P. & Pascalis, O. (2010). Action video game players and deaf observers have larger goldmann visual fields. *Vision Research*, *50* (5), 548–556. doi: 10.1016/j.visres.2009.11.018

Bullimore, M. A. & Bailey, I. L. (1995). Reading and eye movements in age-related maculopathy. *Optometry and Vision Science*, *72* (2), 125–138.

Caldara, R., Zhou, X. & Miellet, S. (2010). Putting culture under the 'spotlight' reveals universal information use for face recognition. *PLoS One*, *5* (3), e9708. doi: 10.1371/journal.pone.0009708

Carrasco, M., Ling, S. & Read, S. (2004). Attention alters appearance. *Nature Neuroscience*, *7* (3), 308–313. doi: 10.1038/nn1194

Cave, K. R. & Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, *22* (2), 225–271.

Chakravarthy, U., Wong, T. Y., Fletcher, A., Piault, E., Evans, C., Zlateva, G., ... Mitchell, P. (2010). Clinical risk factors for age-related macular degeneration: A systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmology*, *10–31*, 31. doi: 10.1186/1471-2415-10-31

Cheng, A. S. & Vingrys, A. J. (1993). Visual losses in early age-related maculopathy. *Optometry and Vision Science*, *70* (2), 89–96.

Cheung, S.-H. & Legge, G. E. (2005). Functional and cortical adaptations to central vision loss. *Visual Neuroscience*, *22* (2), 187–201. doi: 10.1017/S0952523805222071

Chiu, L.-H. (1972). A cross-cultural comparison of cognitive styles in chinese and american children. *International Journal of Psychology*, *7*, 235–242.

Chung, S. T. L. (2010, Apr). Enhancing visual performance for people with central

vision loss. *Optometry and Vision Science*, *87* (4), 276–284. doi: doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181c91347

Coeckelbergh, T. R. M., Brouwer, W. H., Cornelissen, F. W., van Wolffelaar, P. & Kooijman, A. C. (2002). The effect of visual field defects on driving performance: A driving simulator study. *Archives of Ophthalmology*, *120* (11), 1509–1516.

Conrat, F. (1999). *Hermann von Helmholtz' psychologische Anschauungen.* Hildesheim, Deutschland: Georg Olms Verlag.

Cornelissen, F. W., Bruin, K. J. & Kooijman, A. C. (2005). The influence of artificial scotomas on eye movements during visual search. *Optometry and Vision Science*, *82* (1), 27–35.

Cornelissen, F. W., Peters, E. M. & Palmer, J. (2002). The eyelink toolbox: eye tracking with matlab and the psychophysics toolbox. *Behavior Research Methods*, *34* (4), 613–617.

Crossland, M. D., Culham, L. E., Kabanarou, S. A. & Rubin, G. S. (2005). Preferred retinal locus development in patients with macular disease. *Ophthalmology*, *112* (9), 1579–1585. doi: 10.1016/j.ophtha.2005.03.027

Crossland, M. D., Culham, L. E. & Rubin, G. S. (2004). Fixation stability and reading speed in patients with newly developed macular disease. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *24* (4), 327–333. doi: 10.1111/j.1475-1313.2004.00213.x

Crossland, M. D., Morland, A. B., Feely, M. P., von dem Hagen, E. & Rubin, G. S. (2008). The effect of age and fixation instability on retinotopic mapping of primary visual cortex. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *49* (8), 3734–3739. doi: 10.1167/iovs.07-1621

Crossland, M. D. & Rubin, G. S. (2002). The use of an infrared eyetracker to measure fixation stability. *Optometry and Vision Science*, *79* (11), 735–739.

Crossland, M. D. & Rubin, G. S. (2006). Eye movements and reading in macular disease: further support for the shrinking perceptual span hypothesis. *Vision Research*, *46* (4), 590–597. doi: 10.1016/j.visres.2005.05.015

Davis, E. T., Fujawa, G. & Shikano, T. (2002). Perceptual processing and search efficiency of young and older adults in a simple-feature search task: A staircase approach. *Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *57* (4), P324–P337.

Deubel, H., Schneider, W. X. & Bridgeman, B. (1996). Postsaccadic target blanking prevents saccadic suppression of image displacement. *Vision Research*, *36* (7), 985–996.

Deutsch, J. A. & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*, 80–90.

Dickinson, C. A. & Zelinsky, G. J. (2005). Marking rejected distractors: a gaze-contingent

technique for measuring memory during search. *Psychon Bulletin Review*, *12* (6), 1120–1126.

Dickinson, C. A. & Zelinsky, G. J. (2007). Memory for the search path: evidence for a high-capacity representation of search history. *Vision Research*, *47* (13), 1745–1755. doi: 10.1016/j.visres.2007.02.010

Déruaz, A., Matter, M., Whatham, A. R., Goldschmidt, M., Duret, F., Issenhuth, M. & Safran, A. B. (2004). Can fixation instability improve text perception during eccentric fixation in patients with central scotomas? *British Journal of Ophthalmology*, *88* (4), 461–463.

Déruaz, A., Safran, A. B., Sutter, M. & Müri, R. M. (2008). Alterations of the visual perception in advanced age-related macular degeneration. *Clinical Medicine Insights: Geriatrics*, *2*, 21–30.

Déruaz, A., Whatham, A. R., Mermoud, C. & Safran, A. B. (2002). Reading with multiple preferred retinal loci: implications for training a more efficient reading strategy. *Vision Research*, *42* (27), 2947–2957.

Dudenredaktion. (2006). *Duden - Die deutsche Rechtschreibung* (24. Aufl.). Mannheim, Deutschland: Dudenverlag.

Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113* (4), 501–517.

Duncan, J. & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96* (3), 433–458.

Duret, F., Issenhuth, M. & Safran, A. B. (1999). Combined use of several preferred retinal loci in patients with macular disorders when reading single words. *Vision Research*, *39* (4), 873–879.

Egeth, H., Folk, C., Leber, A., Nakayama, T. & Hendel, S. (2001). Attentional capture in the temporal and spatial domains. In C. Folk & B. Gibson (Hrsg.), *Advances in psychology XXX - Attraction, distraction, and action: Multiple perspectives on attentional capture.* (S. 93–119). Amsterdam, Niederlande: Elsevier Science B.V.

Elliott, D. B., Choi, S. S., Doble, N., Hardy, J. L., Evans, J. W. & Werner, J. S. (2009). Role of high-order aberrations in senescent changes in spatial vision. *Journal of Visionk*, *9* (2), 1–16. doi: 10.1167/9.2.24

Elliott, D. B., Patel, B. & Whitaker, D. (2001). Development of a reading speed test for potential-vision measurements. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *42* (8), 1945–1949.

Engbert, R. & Kliegl, R. (2004). Microsaccades keep the eyes' balance during fixation. *Psychological Scientist*, *15* (6), 431–436. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00697.x

Engbert, R. & Mergenthaler, K. (2006). Microsaccades are triggered by low retinal image slip. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of*

*America*, *103* (18), 7192–7197. doi: 10.1073/pnas.0509557103

Eriksen & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, *16*, 143–149.

Eriksen & Hoffman, J. (1973). The extent of processing of noise elements during selective encoding from visual displays. *Perception and Psychophysics*, *14*, 155–160.

Eriksen, C. & James, J. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception and Psychophysics*, *40* (4), 225–240.

Eschenbach. (2014). *Sehen im Alter*. Zugriff am 2014.06.16 auf `https://www.eschenbach-optik.com/de/Sehen-und-Lesen.482.0.html`

Eter, N. (2009). *Die altersabhängige Makuladegeneration* (2. Aufl.). Bremen, Deutschland: UNI-MED-Verlag.

Evans, K., Rotello, C. M., Li, X. & Rayner, K. (2009). Scene perception and memory revealed by eye movements and receiver-operating characteristic analyses: Does a cultural difference truly exist? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62* (2), 276–285. doi: 10.1080/17470210802373720

Falkenberg, H. K., Rubin, G. S. & Bex, P. J. (2007). Acuity, crowding, reading and fixation stability. *Vision Research*, *47* (1), 126–135. doi: 10.1016/j.visres.2006.09.014

Faubert, J. & Overbury, O. (2000). Binocular vision in older people with adventitious visual impairment: sometimes one eye is better than two. *Journal of the American Geriatrics Society*, *48* (4), 375–380.

Feigl, B., Brown, B., Lovie-Kitchin, J. & Swann, P. (2005). Monitoring retinal function in early age-related maculopathy: Visual performance after 1 year. *Eye*, *19* (11), 1169–1177. doi: 10.1038/sj.eye.6701711

Feng, J. & Spence, I. (2013). A mixture distribution of spatial attention. *Experimental Psychology*, *60* (3), 149.

Findlay, J. M. & Gilchrist, I. D. (1998). Eye guidance and visual search. In G. Underwood (Hrsg.), *Cognitive processes in eye guidance* (S. 295–312). Oxford, England: Oxford University Press.

Findlay, J. M. & Gilchrist, I. D. (2003). *Active vision - the psychology of looking and seeing*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Fletcher, D. C. & Schuchard, R. A. (1997). Preferred retinal loci relationship to macular scotomas in a low-vision population. *Ophthalmology*, *104* (4), 632–638.

Fletcher, D. C., Schuchard, R. A. & Watson, G. (1999). Relative locations of macular scotomas near the prl: Effect on low vision reading. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, *36* (4), 356–364.

Folk, C. L. & Remington, R. W. (1998). Selectivity in distraction by irrelevant featural singletons: Evidence for two forms of attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24* (3), 847–858.

Folk, C. L., Remington, R. W. & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18* (4), 1030–1044.

Fornos, A. P., Sommerhalder, J., Rappaz, B., Pelizzone, M. & Safran, A. B. (2006). Processes involved in oculomotor adaptation to eccentric reading. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *47* (4), 1439–1447. doi: 10.1167/iovs.05-0973

Frazier, L., Frazier, K. & Rayner. (1982). Making and correcting errors during sentence comprehension: Eye movements in the analysis of structurally ambiguous sentences. *Cognitive Psychology*, *14* (2), 178–210.

Fuhr, P. S., Liu, L. & Kuyk, T. K. (2007). Relationships between feature search and mobility performance in persons with severe visual impairment. *Optometry and Vision Science*, *84* (5), 393–400. doi: 10.1097/OPX.0b013e31804f5afb

Gagnon, R. W. C. & Kline, D. W. (2003). Senescent effects on binocular summation for contrast sensitivity and spatial interval acuity. *Current Eye Research*, *27* (5), 315–321.

Gilchrist, I. D. & Harvey, M. (2006). Evidence for a systematic component within scanpaths in visual search. *Visual Cognition*, *14* , 704–715.

Grandjean, E. (1991). *Physiologische Arbeitsgestaltung - Leitfaden der Ergonomie.* Griesheim, Deutschland: Ott.

Greenhouse, S. & Geisser, S. (1959). On the methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, *24* , 95–111.

Guez, J. E., Le Gargasson, J. F., Rigaudiere, F. & O'Regan, J. K. (1993). Is there a systematic location for the pseudo-fovea in patients with central scotoma? *Vision Research*, *33* (9), 1271–1279.

Haimovici, R., Owens, S. L., Fitzke, F. W. & Bird, A. C. (2002). Dark adaptation in age-related macular degeneration: relationship to the fellow eye. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, *240* (2), 90–95.

Han, S. & Northoff, G. (2008). Culture-sensitive neural substrates of human cognition: a transcultural neuroimaging approach. *Nature Reviews. Neuroscience*, *9* (8), 646–654. doi: 10.1038/nrn2456

Hedden, T., Ketay, S., Aron, A., Markus, H. R. & Gabrieli, J. D. E. (2008). Cultural influences on neural substrates of attentional control. *Psychological Scientist*, *19* (1), 12–17. doi: 10.1111/j.1467-9280.2008.02038.x

Henderson, J. M., McClure, K. K., Pierce, S. & Schrock, G. (1997). Object identification without foveal vision: Evidence from an artificial scotoma paradigm. *Perception and Psychophysics*, *59* (3), 323–346.

Henson, D. B. (1978). Corrective saccades: effects of altering visual feedback. *Vision Research*, *18* (1), 63–67.

Henson, D. B. (1979). Investigation into corrective saccadic eye movements for refixation amplitudes of 10 degrees and below. *Vision Research*, *19* (1), 57–61.

Hoffman, J. E. & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception and Psychophysics*, *57* (6), 787–795.

Hogg, R. E. & Chakravarthy, U. (2006). Visual function and dysfunction in early and late age-related maculopathy. *Progress in Retinal and Eye Research*, *25* (3), 249–276. doi: 10.1016/j.preteyeres.2005.11.002

Hong, Y. Y., Morris, M. W., Chiu, C. Y. & Benet-Martínez, V. (2000). Multicultural minds. a dynamic constructivist approach to culture and cognition. *American Psychologist*, *55* (7), 709–720.

Hooge, I. T. & Erkelens, C. J. (1996). Control of fixation duration in a simple search task. *Perception and Psychophysics*, *58* (7), 969–976.

Hooge, I. T. & Erkelens, C. J. (1998). Adjustment of fixation duration in visual search. *Vision Research*, *38* (9), 1295–1302.

Horstmann, G. (2005). Attentional capture by an unannounced color singleton depends on expectation discrepancy. *Journal of Experimental Psychology:Human Perception and Performance*, *31* , 1039–1060.

Horwath, K. (2008). *Parafoveale Kontrastwahrnehmung in verschiedenen Altersgruppen* (Unveröffentlichte Dissertation). Universitätsklinik Tübingen.

(2014). Zugriff auf `http://www.zitate-online.de/literaturzitate/allgemein/1556/was-wir-wissen-ist-ein-tropfen-was-wir.html`

Huaman, A. G. & Sharpe, J. A. (1993). Vertical saccades in senescence. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *34* (8), 2588–2595.

Jackson, G. R. & Owsley, C. (2000). Scotopic sensitivity during adulthood. *Vision Research*, *40* (18), 2467–2473.

Jackson, G. R., Owsley, C. & McGwin, G., Jr. (1999). Aging and dark adaptation. *Vision Research*, *39* (23), 3975–3982.

Jacobs, A. M. (1986). Eye-movement control in visual search: How direct is visual span control? *Perception and Psychophysics*, *39*, 47-58.

James, W. (1918). *The principles of psychology - authorized ed., unabridged.* New York, NY: Dover Publications.

Jefferies, L. N., Enns, J. T. & Di Lollo, V. (2014). The flexible focus: Whether spatial attention is unitary or divided depends on observer goals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40* (2), 465.

Ji, L. J., Peng, K. & Nisbett, R. E. (2000). Culture, control, and perception of relationships in the environment. *Journal of Personality and Social Psychology*, *78* (5), 943–955.

Johnson, A. & Gurnsey, R. (2010). Size scaling compensates for sensitivity loss produced by a simulated central scotoma in a shape-from-texture task. *Journal of Vision*, *10*

(12), 18. doi: 10.1167/10.12.18

Jonides, J. (1983). Further toward a model of the mind's eye's movement. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *21* (4), 247–250.

Joseph, J. S. & Optican, L. M. (1996). Involuntary attentional shifts due to orientation differences. *Perception and Psychophysics*, *58* (5), 651–665.

Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, *87*, 329–354.

Kabanarou, S. A., Crossland, M. D., Bellmann, C., Rees, A., Culham, L. E. & Rubin, G. S. (2006). Gaze changes with binocular versus monocular viewing in age-related macular degeneration. *Ophthalmology*, *113* (12), 2251–2258. doi: 10.1016/j.ophtha .2006.06.028

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. New York, NY: Prentice-Hall.

Kanonidou, E. (2011). Reading performance and central field loss. *Hippokratia*, *15* (2), 103–108.

Klein, R., Wang, Q., Klein, B. E., Moss, S. E. & Meuer, S. M. (1995). The relationship of age-related maculopathy, cataract, and glaucoma to visual acuity. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *36* (1), 182–191.

Kleweno, C. P., Seibel, E. J., Viirre, E. S., Kelly, J. P. & Furness, T., 3rd. (2001). The virtual retinal display as a low-vision computer interface: Apilot study. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, *38* (4), 431–442.

Kline, D. W. (1994). Optimizing the visibility of displays for older observers. *Experimental Aging Research*, *20* (1), 11–23. doi: 10.1080/03610739408253950

Kline, D. W., Kline, T. J., Fozard, J. L., Kosnik, W., Schieber, F. & Sekuler, R. (1992). Vision, aging, and driving: the problems of older drivers. *Journal of Gerontolology*, *47* (1), 27–34.

Källstrand-Ericson, J. & Hildingh, C. (2009). Visual impairment and falls: A register study. *Journal of Clinical Nursing*, *18* (3), 366–372. doi: 10.1111/j.1365-2702.2008 .02516.x

Knoblauch, K., Mazoyer, V., Koenig, F. & Vital-Durand, F. (2001). Facilitated visual search at low color contrast. *Color Research and Application*, *26*, 157–160.

Kosnik, W., Fikre, J. & Sekuler, R. (1986). Visual fixation stability in older adults. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *27* (12), 1720–1725.

Kosnik, W., Kline, D., Fikre, J. & Sekuler, R. (1987). Ocular fixation control as a function of age and exposure duration. *Psychology and Aging*, *2* (3), 302–305.

Kosnik, W., Winslow, L., Kline, D., Rasinski, K. & Sekuler, R. (1988). Visual changes in daily life throughout adulthood. *Journal of Gerontology*, *43* (3), P63–P70.

Kozich, C. (2010). *Perimetrie mit dem Octopus 500 und dem Octopus 900- ein Gerätevergleich* (Unveröffentlichte Dissertation). Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-

Nürnberg.

Kuyk, T., Liu, L., Elliott, J. & Fuhr, P. S. W. (2010). Visual search training and obstacle avoidance in adults with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *104*, 215–227.

Kuyk, T., Liu, L. & Fuhr, P. S. W. (2005). Feature search in persons with severe visual impairment. *Vision Research*, *45* (25-26), 3224—3234. doi: 10.1016/j.visres.2005.07.019

Laberge, J. C. & Scialfa, C. T. (2005). Predictors of web navigation performance in a life span sample of adults. *Human Factors*, *47* (2), 289–302.

Labianca, A. T. & Peli, E. (1996). Monocular preferred retinal loci are inconsistent with binocular viewing. In *International conference of low vision. Book 1* (S. 381–387). Harvard, MA: The Schepens Eye Research Institute, Harvard Medical School.

Lamy, D. & Egeth, H. E. (2003). Attentional capture in singleton-detection and feature-search modes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29* (5), 1003–1020. doi: 10.1037/0096-1523.29.5.1003

Lee, K. K. & Markowitz, S. N. (2010). Scotoma size reduction as an adaptive strategy in age-related macular degeneration. *Canadian Journal of Ophthalmology*, *45* (4), 393–398. doi: doi.org/10.3129/i10-021

Legge, G. E., Ahn, S. J., Klitz, T. S. & Luebker, A. (1997). Psychophysics of reading–XVI. The visual span in normal and low vision. *Vision Research*, *37* (14), 1999–2010.

Lei, H. & Schuchard, R. A. (1997). Using two preferred retinal loci for different lighting conditions in patients with central scotomas. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *38* (9), 1812–1818.

Levine, M. W. (2000). *Levine and shefner's fundamentals of sensation and perception* - (3. Aufl.). Oxford, England: Oxford University Press.

Lingnau, A., Schwarzbach, J. & Vorberg, D. (2008). Adaptive strategies for reading with a forced retinal location. *Journal of Vision*, *8* (5), 6.1–618. doi: 10.1167/8.5.6

Lord, S. R. (2006). Visual risk factors for falls in older people. *Age and ageing*, *35* (2), 42–45.

Luo, G., Satgunam, P. & Peli, E. (2012). Visual search performance of patients with vision impairment: Effect of JPEG image enhancement. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *32* (5), 421–428. doi: 10.1111/j.1475-1313.2012.00908.x

Macedo, A. F., Crossland, M. D. & Rubin, G. S. (2011). Investigating unstable fixation in patients with macular disease. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *52* (3), 1275–1280. doi: 10.1167/iovs.09-4334

Mackeben, M. (1999). Sustained focal attention and peripheral letter recognition. *Spatial Vision*, *12* (1), 51–72.

MacKeben, M. & Fletcher, D. C. (2011). Target search and identification performance

in low vision patients. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *52* (10), 7603–7609. doi: 10.1167/iovs.10-6728

Madden, D. J., Gottlob, L. R. & Allen, P. A. (1999). Adult age differences in visual search accuracy: attentional guidance and target detectability. *Psychology and Aging*, *14* (4), 683–694.

Malinowski, P., Fuchs, S. & Müller, M. M. (2007). Sustained division of spatial attention to multiple locations within one hemifield. *Neuroscience letters*, *414* (1), 65–70.

Maltz, M. & Shinar, D. (1999). Eye movements of younger and older drivers. *Human Factors*, *41* (1), 15–25.

Marmeleira, J., Ferreira, I. & Fernandes, G., Orlando. (2007). Time-to-arrival and useful field of view: Associations with reported driving difficulties among older adults. In *Proceedings of the 4th international driving symposium on human factors in. Driver assessment, training and vehicle design* (S. 91-97). Iowa City, IA: University of Iowa, Public Policy Center.

Martinez-Conde, S., Macknik, S. L. & Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews. Neuroscience*, *5* (3), 229–240. doi: 10.1038/nrn1348

Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., Troncoso, X. G. & Hubel, D. H. (2009). Microsaccades: A neurophysiological analysis. *Trends in Neurosciences*, *32* (9), 463–475. doi: 10.1016/j.tins.2009.05.006

Masuda, Y., Dumoulin, S. O., Nakadomari, S. & Wandell, B. A. (2008). V1 projection zone signals in human macular degeneration depend on task, not stimulus. *Cerebral Cortex*, *18* (11), 2483–2493. doi: 10.1093/cercor/bhm256

Masuda, Y. & Nisbett, R. E. (2006). Culture and change blindness. *Cognitive Sciences*, *30* (2), 381–399. doi: 10.1207/s15516709cog0000_63

McClelland, J. L. & Rummelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review*, *85*, 375–407.

McConkie, G. W. & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception and Psychophysics*, *17*, 578-586.

McCormick, P. A., Klein, R. M. & Johnston, S. (1998). Splitting versus sharing focal attention: Comment on Castiello and Umilta (1992). *Journal of Experimental Psychology*, *24*, 350–357.

McMahon, T. T., Hansen, M. & Viana, M. (1991). Fixation characteristics in macular disease. Relationship between saccadic frequency, sequencing, and reading rate. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *32* (3), 567–574.

McMurdo, M. E. & Gaskell, A. (1991). Dark adaptation and falls in the elderly. *Gerontology*, *37* (4), 221–224.

Mühlenen, A., Rempel, M. & Enns, J. (2005). Unique temporal change is the key to attentional capture. *Psychological Science*, *16* (12), 979–986.

Midena, E., Degli Angeli, C., Blarzino, M. C., Valenti, M. & Segato, T. (1997). Macular function impairment in eyes with early age-related macular degeneration. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *38* (2), 469–477.

Miellet, S., Lao, J., Zhou, X., He, L. & Caldara, R. (2012). When east meets west: gaze-contingent blindspots abolish cultural diversity in eye movements for faces. *Journal of Eye Movement Research*, *5*, 1–12.

Miellet, S., Zhou, X., He, L., Rodger, H. & Caldara, R. (2010). Investigating cultural diversity for extrafoveal information use in visual scenes. *Journal of Vision*, *10* (6), 21. doi: 10.1167/10.6.21

Mißfeldt, S. (2013). *Mikrosakkaden und Fixationsstabilität bei AMD-Patienten* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). TU-Berlin.

Miller, J. (1988). Discrete and continuous models of human information processing: Theoretical distinctions and empirical results. *Acta Psychologica*, *67* (3), 191–257.

Miyamoto, Y., Nisbett, R. E. & Masuda, T. (2006). Culture and the physical environment. Holistic versus analytic perceptual affordances. *Psychological Scientist*, *17* (2), 113–119. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01673.x

Müller-Plath, G. (2000). *Formale Modellierung visueller Suchstrategien - mit Anwendungen bei der Lokalisation von Hirnfunktionen und in der Diagnostik von Aufmerksamkeitsstörungen* (Unveröffentlichte Dissertation). Universität Leipzig.

Müller-Plath, G. (2008). Localizing subprocesses of visual search by correlating local brain activation in fmri with response time model parameters. *Journal of Neuroscience Methods*, *171* (2), 316–330. doi: 10.1016/j.jneumeth.2008.03.010

Müller-Plath, G. & Elsner, K. (2007). Space-based and object-based capacity limitations in visual search. *Visual Cognition*, *15*, 599–634.

Müller-Plath, G. & Klöckner, N. (2014). Exogenous attention can be counter-selective: Onset cues disrupt sensitivity to color changes. *Psychological Research*, *78*, 222–247. doi: 10.1007/s00426-013-0489-5

Müller-Plath, G. & Pollmann, S. (2003). Determining subprocesses of visual feature search with reaction time models. *Psychological Research*, *67* (2), 80–105. doi: 10.1007/s00426-002-0109-2

Moffitt, K. (1980). Evaluation of the fixation duration in visual search. *Perception and Psychophysics*, *27* (4), 370–372. doi: 10.3758/BF03206127

Mohr-Andrä, M. & Mohr, K. (2007). [angiogenesis inhibitors for vision loss. ranibizumab for macular degeneration]. *Pharmazie in Unserer Zeit*, *36* (6), 437–440. doi: 10.1002/pauz.200700239

Moschner, C. & Baloh, R. W. (1994). Age-related changes in visual tracking. *Journal of*

*Gerontology*, *49* (5), M235–M238.

Motter, B. & Belky, E. (1998). The zone of focal attention during active visual search. *Vision Research*, *38*, 1007–1022.

Müsseler, J. (2007). *Allgemeine Psychologie* (2. Aufl.). Heidelberg, Deutschland: Spektrum Akademischer Verlag.

Munoz, D. P., Broughton, J. R., Goldring, J. E. & Armstrong, I. T. (1998). Age-related performance of human subjects on saccadic eye movement tasks. *Experimental Brain Research*, *121* (4), 391–400.

Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*, 353–383.

Neelam, K., Nolan, J., Chakravarthy, U. & Beatty, S. (2009). Psychophysical function in age-related maculopathy. *Survey of Ophthalmology*, *54* (2), 167–210. doi: 10.1016/j.survophthal.2008.12.003

Neuman, O. (1987). Beyond capaticity: A functional view of attention. In H. Heuer & A. F. Sanders (Hrsg.), *Perspectives on perception and action* (S. 361–394). Hillsdale, England: Lawrence Erlbaum Associates.

Neuman, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: Von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau*, *43*, 83–101.

Nguyen, N. X., Stockum, A., Hahn, G. A. & Trauzettel-Klosinski, S. (2011). Training to improve reading speed in patients with juvenile macular dystrophy: A randomized study comparing two training methods. *Acta Ophthalmol*, *89* (1), e82–e88. doi: 10.1111/j.1755-3768.2010.02081.x

Nguyen, N. X., Weismann, M. & Trauzettel-Klosinski, S. (2008). Ophthalmologische und soziale Rehabilitation sehbehinderter Patienten: Eine retrospektive Analyse an der Tübinger Sehbehindertenambulanz von 1999–2005. *Der Ophthalmologe*, *105* (6), 563–569. doi: doi:10.1007/s00347-007-1651-5

Nisbett, R. E. & Miyamoto, Y. (2005). The influence of culture: Holistic versus analytic perception. *Trends Cognitive Sciences*, *9* (10), 467–473. doi: 10.1016/j.tics.2005.08.004

Norman, D. (1968). Toward a theory of memory and attention. *Psychological Review*, *75*, 522–536.

Näsänen, R., Ojanpää, H. & Kojo, I. (2001). Effect of stimulus contrast on performance and eye movements in visual search. *Vision Research*, *41* (14), 1817–1824.

O'Regan, J. K., Lévy-Schoen, A. & Jacobs, A. M. (1983). The effect of visibility on eye-movement parameters in reading. *Perception and Psychophysics*, *34* (5), 457–464.

Owsley, C. (2011). Aging and vision. *Vision Research*, *51* (13), 1610–1622. doi: 10.1016/j.visres.2010.10.020

Owsley, C., McGwin, G., Jr, Sloane, M. E., Stalvey, B. T. & Wells, J. (2001). Timed

instrumental activities of daily living tasks: relationship to visual function in older adults. *Optometry and Vision Science*, *78* (5), 350–359.

Owsley, C., Sekuler, R. & Siemsen, D. (1983). Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Research*, *23* (7), 689–699.

Pagenstecher, H. & Genth, C. (1875). *Atlas der pathologischen Anatomie des Augapfels.* Wiesbaden, Deutschland: Anonymous.

Pardhan, S. (1996). A comparison of binocular summation in young and older patients. *Current Eye Research*, *15* (3), 315–319.

Pashler, H. (1988). Familiarity and visual change detection. *Perception and Psychophysics*, *44* (4), 369–378.

Pashler, H. (1999). *The psychology of attention.* Cambridge, England: MIT Press.

Pearce, E., Sivaprasad, S. & Chong, N. V. (2011). Comparing fixation location and stability in patients with neovascular age-related macular degeneration treated with or without ranibizumab. *Eye (Lond)*, *25* (2), 149–153. doi: 10.1038/eye.2010.167

Peterson, M. S., Kramer, A. F., Wang, R. F., Irwin, D. E. & McCarley, J. S. (2001, Jul). Visual search has memory. *Psychological Sciences*, *12* (4), 287–292.

Petrova, K., Wentura, D. & Fu, X. (2013). Cultural influences on oculomotor inhibition of remote distractors: Evidence from saccade trajectories. *Vision Research*, *84*, 43–49. doi: 10.1016/j.visres.2013.03.008

Phipps, J. A., Guymer, R. H. & Vingrys, A. J. (2003). Loss of cone function in age-related maculopathy. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *44* (5), 2277–2283.

Pijnacker, J., Verstraten, P., van Damme, W., Vandermeulen, J. & Steenbergen, B. (2011). Rehabilitation of reading in older individuals with macular degeneration: A review of effective training programs. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn*, *18* (6), 708–732. doi: 10.1080/13825585.2011.613451

Pinel, J. P. J. (2003). *Biopsychology* (5. Aufl.). Boston, MA: Pearson Education.

Plank, T., Frolo, J., Farzana, F., Brandl-Rühle, S., Renner, A. B. & Greenlee, M. W. (2013). Neural correlates of visual search in patients with hereditary retinal dystrophies. *Human Brain Mapping*, *34* (10), 2607–2623. doi: 10.1002/hbm.22088

Plude, D. J. & Doussard-Roosevelt, J. A. (1989). Aging, selective attention, and feature integration. *Psychology and Aging*, *4* (1), 98–105.

Pomplun, M., Reingold, E. & Shen, J. (2001). Peripheral and parafoveal cueing and masking effects on saccadic selectivity in a gaze-contingent window paradigm. *Vision Research*, *41*, 2757–2769.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*, 3–15.

Posner, M. I. & Boies, S. W. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, *7*, 391–408.

Quillen, D. A. (2001). Effect of unilateral exudative age-related macular degeneration on binocular visual function. *Archives of Ophthalmology*, *119* (11), 1725–1726.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124* (3), 372–422.

Rayner, K., Castelhano, M. S. & Yang, J. (2009). Eye movements when looking at unusual/weird scenes: Are there cultural differences? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35* (1), 254–259. doi: 10.1037/a0013508

Rohrschneider, K. & Bültmann, S. (2001). Fundus-controlled functional evaluation in macular diseases with the scanning laser ophthalmoscope. *Ophthalmologe*, *98* (1), 3–9.

Rosenfeld, P. J., Brown, D. M., Heier, J. S., Boyer, D. S., Kaiser, P. K., Chung, C. Y., ... M. A. R. I. N. A. S. G. (2006). Ranibizumab for neovascular age-related macular degeneration. *New England Journal of Medicine*, *355* (14), 1419–1431.

Ross, J. E., Clarke, D. D. & Bron, A. J. (1985). Effect of age on contrast sensitivity function: Uniocular and binocular findings. *British Journal of Ophthalmology*, *69* (1), 51–56. doi: 10.1136/bjo.69.1.51

Rubin, G. S. & Feely, M. (2009). The role of eye movements during reading in patients with age-related macular degeneration (AMD). *Neuro-Ophthalmology*, *33* (3), 120–126. doi: 10.1080/01658100902998732

Safran, A. B., Duret, F., Issenhuth, M. & Mermoud, C. (1999). Full text reading with a central scotoma: Pseudo regressions and pseudo line losses. *British Journal of Ophthalmology*, *83* (12), 1341–1347.

Schieber, F. (2006). Vision and aging. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Hrsg.), *Handbook of the psychology of aging* (6. Aufl., S. 129-154). Burlington, VT: Academic Press.

Schneider, W. X. & Deubel, H. (1995). Visual attention and saccadic eye movements: Evidence for obligatory and selective spatial coupling. In R. Groner & G. d'Ydewalle (Hrsg.), *Eye movement research mechanisms, processes, and applications* (Bd. 6, S. 317 - 324). doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0926-907X(05)80027-3

Schreiber, K. (1999). *Erstellung und Optimierung von Algorithmen zur Messung von Augenbewegungen mittels Video-Okulographie-Methoden* (Unveröffentlichte Dissertation). Universität Tübingen.

Schuchard, R. A. (2005). Preferred retinal loci and macular scotoma characteristics in patients with age-related macular degeneration. *Canadian Journal of Ophthalmology*, *40* (3), 303–312. doi: 10.1016/S0008-4182(05)80073-0

Scialfa, C. T., Esau, S. P. & Joffe, K. M. (1998). Age, target-distractor similarity, and visual search. *Experimental Aging Research*, *24* (4), 337–358. doi: 10.1080/036107398244184

Scilley, K., Jackson, G. R., Cideciyan, A. V., Maguire, M. G., Jacobson, S. G. & Owsley,

C. (2002). Early age-related maculopathy and self-reported visual difficulty in daily life. *Ophthalmology*, *109* (7), 1235–1242.

Seidl, T. (2000). *Gesichtsfeld nach Goldmann.* Zugriff am 2013.09.30 auf `http://www.lowvision-stiftung.de/wp-content/uploads/2010/09/gesichtsfeld.pdf`

Seiple, W., Grant, P. & Szlyk, J. P. (2011). Reading rehabilitation of individuals with amd: Relative effectiveness of training approaches. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *52* (6), 2938–2944. doi: 10.1167/iovs.10-6137

Seiple, W., Szlyk, J. P., McMahon, T., Pulido, J. & Fishman, G. A. (2005). Eye-movement training for reading in patients with age-related macular degeneration. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *46* (8), 2886–2896. doi: 10.1167/iovs.04-1296

Sekuler, A., Bennett, P. & Mamelak, M. (2000). Effects of aging on the useful field of view. *Experimental Aging Research*, *26* (2), 103–120. doi: 10.1080/036107300243588

Sekuler, R. & Ball, K. (1986). Visual localization: Age and practice. *Journal of optical society of America A*, *3*, 864–867. doi: 10.1364/JOSAA.3.000864

Sharpe, J. A. & Zackon, D. H. (1987). Senescent saccades. Effects of aging on their accuracy, latency and velocity. *Acta Oto-laryngologica*, *104* (5-6), 422–428.

Shiffrin, R. M. & Czerwinski, M. P. (1988). A model of automatic attention attraction when mapping is partially consistent. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *14* (3), 562–569.

Smith, N. D., Crabb, D. P. & Garway-Heath, D. F. (2011). An exploratory study of visual search performance in glaucoma. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *31* (3), 225–232. doi: 10.1111/j.1475-1313.2011.00836.x

Sommerhalder, J., Oueghlani, E., Bagnoud, M., Leonards, U., Safran, A. B. & Pelizzone, M. (2003). Simulation of artificial vision: I. Eccentric reading of isolated words, and perceptual learning. *Vision Research*, *43* (3), 269–283.

Sophokles. (1986). *König Ödipus.* Stuttgart, Deutschland: Reclam.

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, *74*, 1-30.

Starner, T., Mann, S., Rhodes, B., Levine, J., Healey, J., Kirsch, D., ... Pentland, A. (1997). Augmented reality through wearable computing. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *6* (4), 386–398.

Sturm, W. (2005). *Aufmerksamkeitsstörungen* (1. Aufl.). Götttingen, Deutschland: Hogrefe Verlag.

Styles, E. (2006). *The psychology of attention.* London, England: Psychology Press.

Sunness, J. S., Schuchard, R. A., Shen, N., Rubin, G. S., Dagnelie, G. & Haselwood, D. M. (1995). Landmark-driven fundus perimetry using the scanning laser ophthalmoscope. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *36* (9), 1863–1874.

Tarita-Nistor, L., Brent, M. H., Steinbach, M. J. & González, E. G. (2011). Fixation

stability during binocular viewing in patients with age-related macular degeneration. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *52* (3), 1887–1893. doi: 10.1167/iovs.10-6059

Tarita-Nistor, L., Brent, M. H., Steinbach, M. J. & González, E. G. (2012). Fixation patterns in maculopathy: From binocular to monocular viewing. *Optometry and Vision Science*, *89* (3), 277–287. doi: 10.1097/OPX.0b013e318244e8b1

Tarita-Nistor, L., González, E. G., Markowitz, S. N. & Steinbach, M. J. (2006). Binocular function in patients with age-related macular degeneration: A review. *Canadian Journal of Ophthalmology*, *41* (3), 327–332. doi: 10.1139/I06-029

Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception and Psychophysics*, *51* (6), 599–606.

Theeuwes, J. (1994). Stimulus-driven capture and attentional set: Selective search for color and visual abrupt onsets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20* (4), 799–806.

Theeuwes, J. (2004). Top-down search strategies cannot override attentional capture. *Psychonomic Bulletin and Review*, *11* (1), 65–70.

Theeuwes, J. & Godijn, R. (2001). Attentional and oculomotor capture. In C. Folk & B. Gibson (Hrsg.), *Attraction, distraction and action - multiple perspectives on attentional capture*. Amsterdam, Niederlande: Elsvier.

Timberlake, G. T., Mainster, M. A., Peli, E., Augliere, R. A., Essock, E. A. & Arend, L. E. (1986). Reading with a macular scotoma. I. Retinal location of scotoma and fixation area. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *27* (7), 1137–1147.

Timberlake, G. T., Mainster, M. A., Peli, E., Augliere, R. A., Essock, E. A. & Arend, L. E. (1987). Reading with a macular scofoma II . Retinal locus for scanning text. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *28*, 1268–1274.

Treisman, A. (1960). Stimulus-response theory and expectancy. *British Journal of Psychology*, *51*, 49–60.

Treisman, A. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12* (1), 97–136.

Treisman, A. & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, *95* (1), 15–48.

Tulving, E. & Pearlstone, Z. (1966). Availability versus accessibility of information in memory for words. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *5*, 381–391.

van der Heijden, A. H. C. (1987). Central selection in vision. In H. Heuer & A. F. Sanders (Hrsg.), *Perspectives on perception and action* (S. 421–446). Hillsdale, England: Lawrence Erlbaum Associates.

van der Stigchel, S. & Nijboer, T. (2011). The global effect: What determines where the eyes land? *Journal of Eye Movement Research*, *4*, 1–13.

Vauras, M., Vauras, J., Hyona, P. & Niemi. (1992). Comprehending coherent and incoherent texts: evidence from eye movement patterns and recall performance. *Journal of Research in Reading*, *15* (1), 39–54.

Veiel, L. L., Storandt, M. & Abrams, R. A. (2006). Visual search for change in older adults. *Psychology and Aging*, *21* (4), 754–762. doi: 10.1037/0882-7974.21.4.754

Verezen, C. A., Hoyng, C. B., Meulendijks, C. F. M., Keunen, J. E. E. & Klevering, B. J. (2011). Eccentric gaze direction in patients with central field loss. *Optometry and Vision Science*, *88* (10), 1164–1171. doi: 10.1097/OPX.0b013e31822891e0

Vingolo, E. M., Cavarretta, S., Domanico, D., Parisi, F. & Malagola, R. (2007). Microperimetric biofeedback in amd patients. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *32* (3-4), 185–189. doi: 10.1007/s10484-007-9038-6

Virsu, V. & Hari, R. (1996). Cortical magnification, scale invariance and visual ecology. *Vision Research*, *36* (18), 2971–2977.

Vlaskamp, B. N. S., Over, E. A. B. & Hooge, I. T. C. (2005). Saccadic search performance: The effect of element spacing. *Experimental Brain Research*, *167* (2), 246–259. doi: 10.1007/s00221-005-0032-z

von Noorden, G. K. & Mackensen, G. (1962). Phenomenology of eccentric fixation. *American Journal of Ophthalmology*, *53*, 642–660.

Waldenfels, B. (2004). *Phänomenologie der Aufmerksamkeit* (2. Aufl.). Frankfurt am Main, Deutschland: Suhrkamp.

Warabi, T., Kase, M. & Kato, T. (1984). Effect of aging on the accuracy of visually guided saccadic eye movement. *Annals of Neurology*, *16* (4), 449–454. doi: 10.1002/ana.410160405

Watson, S. E. & Kramer, A. F. (1999). Object-based visual selective attention and perceptual organization. *Perception and Psychophysics*, *61* (1), 31–49.

Welford, A. T. (1952). The 'psychological refractory period'and the timing of high-speed performance - A review and a theory. *British Journal of Psychology. General Section*, *43* (1), 2–19.

Whiteside, J. A. (1974). Eye movements of children, adults, and elderly persons during inspection of dot patterns. *Journal of Experimental Child Psychology*, *18* (2), 313–332.

Whittaker, S. G., Cummings, R. W. & Swieson, L. R. (1991). Saccade control without a fovea. *Vision Research*, *31* (12), 2209–2218.

WHO. (2013). *ICD-10-WHO Version 2013.* Zugriff am 2013.09.29 auf `http://www.dimdi.de/static/de/klassi/icd-10-who/kodesuche/onlinefassungen/htmlamtl2013/block-h30-h36.htm`

Wienrich, C., Heße, U. & Müller-Plath, G. (2009). Eye movements and attention in visual feature search with graded target-distractor-similarity. *Journal of Eye Movement*

*Research*, *3*, 1-19.

Wienrich, C. & Janczyk, M. (2011). Absence of attentional capture in parallel search is possible: a failure to replicate attentional capture in a non-singleton target search task. *Attention Perception and Psychophysics*, *73* (7), 2044–2052. doi: 10.3758/s13414-011-0183-x

Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0 a revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin and Review*, *1* (2), 202–238. doi: 10.3758/BF03200774

Wolfe, J. M. (1996). Resolving perceptual ambiguity. *Nature*, *380* (6575), 587–588. doi: 10.1038/380587a0

Wolfram, C. & Pfeiffer, N. (2014). Problems and perspectives of ophthalmic research in Germany: Results from a national survey. *Ophthalmic Research*, *51* (2), 73–81. doi: 10.1159/000354329

Wollschläger, D. (2010). *Grundlagen der Datenanalyse mit R*. Heidelberg, Deutschland: Springer Spektrum.

Yantis, S. (1992). Multielement visual tracking: Attention and perceptual organization. *Cognitive Psychology*, *24* (3), 295–340.

Yarbus, A. L. & Rigg, L. A. (1967). *Eye movements and vision*. New York, USA: Plenum.

Yu, D., Cheung, S.-H., Legge, G. E. & Chung, S. T. L. (2010). Reading speed in the peripheral visual field of older adults: Does it benefit from perceptual learning? *Vision Research*, *50* (9), 860–869. doi: 10.1016/j.visres.2010.02.006

Yu, D., Legge, G. E., Park, H., Gage, E. & Chung, S. T. L. (2010). Development of a training protocol to improve reading performance in peripheral vision. *Vision Research*, *50* (1), 36–45. doi: 10.1016/j.visres.2009.10.005

# A
# Glossar

**zentrale Begriffe**

*Akkommodation*: charakterisiert zeitlich kurzfristige Veränderungen an Bedingungen, die kurzfristig präsent sind: Hier wurde vorwiegend die Akkommodation an einen sinkenden Stimuluskontrast und die Akkommodation an einen semi-opaken sowie opaken zentralen Sehverlust betrachtet.

*Adaptation*: meint zeitlich mittel- bis langfristige Veränderungen an Bedingungen, die mittel- oder langfristig präsent sind.

*Aufmerksamkeitsfokus*: wird hier im Sinne der *Reichweite der Aufmerksamkeit* verstanden, welche als „[...] Radius einer Umgebung des Zielobjektes in der *Aktivierungskarte*, in der die Zielreiz-Aktivierung größer ist als alle Ablenker-Aktivierungen.“ definiert wurde (Müller-Plath, 2000, S. 38). Wie groß diese Zone dann tatsächlichen in einer Suchsituation eingestellt wird, beschreibt die Größe des Aufmerksamkeitsfokus.

*Gradientenhypothese*: stellt eine Vermutung dar, welche retinalen Mechanismen dem Aufmerksamkeitsfokus bei einem opaken zentralen Sehverlust zugrunde liegen.. Es wird davon ausgegangen, dass alle potentiell retinal intakten Retinaareale zur Zielreizfindung genutzt werden, die eine ausreichende Sehstärke aufweisen. Bei intakter fovealer Wahrnehmung können das zentrale und periphere Bereiche sein. Bei defekter fovealer Wahrnehmung sind das ausschließlich periphere Areale. Die Fokussierung der Aufmerksamkeit stelle demnach einen vom Fixationsverhalten unabhängigen kognitiven Mechanismus dar.

*Fixationsorthypothese*: stellt eine Vermutung dar, welche retinalen Mechanismen dem Aufmerksamkeitsfokus bei einem opaken zentralen Sehverlust zugrunde liegen. In Anlehnung an die Adaptation der Fixation (PRL) wird davon ausgegangen, dass dem Fokus nur ein peripheres Retinaareal zugrunde liegt. Die Fokussierung der Aufmerksamkeit diene demnach dazu, den Reiz in das Zentrum des schärfsten Sehens zu holen und ist im Grunde ein Epiphänomen des Sehschärfegradienten.

*Makuladegeneration*: beschreibt eine Gruppe von Krankheiten, welche die menschliche Netzhaut betreffen. Abbauprozesse im Bereich der Fovea führen zu einem zentralen Sehverlust.

*PRL*: steht für *prefered retinal locus* und charakterisiert den alternativen (exzentrischen) Fixationsort bei Patienten mit zentralem Sehverlust. In dieser Arbeit wurde damit der aktuell genutzte alternative (zur Fovea) Fixationsort gemeint.

*Pseudofovea*: beschreibt das gleiche wie einen PRL mit dem Unterschied, dass eine retinal periphere Stelle intra-individuell stabil über einen längeren Zeitraum, zumindest innerhalb einer Aufgabe, verwendet wird.

*Sakkadenamplitude*: beschreibt die Länge von Augenbewegungen zwischen zwei aufeinander folgenden Fixationen.

*Salienz*: wird hier als psychologisches Konstrukt aufgefasst. Es beschreibt den wahrgenommenen Unterschied zwischen dem Zielreiz und den Ablenkern.

*Salienzkartenmodelle*: beschreiben okulomotorische und attentionale Parameter in einem visuellen Suchparadigma in Abhängigkeit der Target- und Distraktoraktivierung. Sie resultieren in der Vorhersage von Salienzwerten.

*SFX*: steht für *single fixation paradigm* und stellt ein Paradigma da, mit dessen Hilfe die Erkennungsleistung von Reizen in Abhängigkeit von der Exzentrizität der Reizdarbietung bestimmt werden kann. Damit stellt dieses Paradigma eine Methode dar, Aufmerksamkeitsprozesse abzubilden ohne Augenbewegungen zu messen.

*Skotom*: ist eine Reduktion der visuellen Auflösung und Sensitivität in bestimmten Bereichen des Gesichtsfeldes. Hier werden im wesentlichen zentrale Skotome untersucht, also eine Reduktion im zentralen Gesichtsfeld.

*Skotomopazität*: kann mit Trübung übersetzt werden und dient als Maß für die Stärke eines Gesichtsfeldausfalls. Je stärker die Opazität ist, desto stärker ist die Trübung in dem entsprechenden Areal und desto heftiger ist der Gesichtsfeldausfall.

*Stimuluskontrast*: definiert hier die physikalische Ähnlichkeit zwischen Reizen. Diese Definition schließt die physikalische Target-Distraktor-Ähnlichkeit und die physikalische Ähnlichkeit zwischen Distraktoren ein.

*UFOV*: steht für *useful field of view* und stellt ein Paradigma da, mit dessen Hilfe die Erkennungsleistung von Reizen in Abhängigkeit von der Exzentrizität der Reizdarbietung bestimmt werden kann. Damit stellt dieses Paradigma eine Methode dar, Aufmerksamkeitsprozesse abzubilden ohne Augenbewegungen zu messen.

*visuelle Suche*: ist ein Paradigma, mit Hilfe dessen Aufmerksamkeitsprozesse abgebildet werden können. Ein Zielreiz wird unter Ablenkern dargeboten. Dabei kann die Ähnlichkeit zwischen dem Zielreiz sowie unter den Ablenkern untereinander variiert werden. In dieser Arbeit wurde so der Stimuluskontrast manipuliert.

*zSV*: steht für zentraler Sehverlust. Erklärungen siehe *Skotom* weiter oben innerhalb dieses Abschnitts.

**Einheiten**

c/deg (cpd): Sinusperioden pro Grad visueller Sehwinkel (*cycles per degree of visual angle*)

$cd/m^2$: Candela pro Quadratmeter

dB: Dezibel

dpt: Dioptrin

°: Grad visueller Sehwinkel

°/s: Grad visueller Sehwinkel pro Sekunde

Hz: Hertz

kHz: Kilohertz

min/Dek: Minute pro Dekade

mm: Millimeter

ms: Millisekunden

px: Pixel

%: Prozent

s/Dek: Sekunde pro Dekade

wdm: Wörter pro Minute (*words per minute*)

# B

# Anhang zu Kapitel 1

**Zusammenfassung**

Dieser Anhang dient als Ergänzung zu Kapitel 1, in dem die Krankheitsfamilie der Makuladegenerationen beschrieben wurde. Therapie-, Rehabilitations- sowie Trainingsmaßnahmen werden hier ausführlich beschrieben.

**Schlüsselwörter**

AMD, Therapie, Rehabilitation, Training

Eine Heilung der AMD-Erkrankung ist nach heutigen medizinischen Standards noch nicht möglich. Dennoch gibt es verschiedene Programme, welche den Progress der Krankheit verzögern (*Therapie*), die Hilfsmittel für Patienten zur Verfügung stellen (*Rehabilitation*) oder Strategien lehren (*Training*), die den Umgang mit den Einschränkungen erleichtern.

## B.1 Therapiemöglichkeiten

Ziel eines medizinischen Eingreifens bei einer feuchten AMD ist es, *das Austreten von Flüssigkeiten zu stoppen* oder bereits entwichene Flüssigkeiten zu entfernen. Hierfür stehen diverse Methoden zu Verfügung, welchen verschiedene Wirkmechanismen unterliegen. Thermisch-basierte Verfahren operieren mit Hitzeentwicklung, welche pathologisches Gewebe zerstört oder für die Koagluation von Flüssigkeiten sorgt (Eter, 2009). Photo-basierte Anwendungen können ebenso eine Obliteration oder Gerinnung hervorrufen, fußen allerdings auf dem Einwirken von spezifischen Lichtwellen auf zuvor photo-sensibilisierten Gewebe (Eter, 2009). Bei chirurgischen Eingriffen werden entweder neovaskuläre Membranen oder ausgetretende Flüssigkeiten entfernt oder Netzhautareale verschoben bzw. ersetzt. *Translokationen* der Makula erfolgen durch eine Ablösung und Drehung der Retina, so dass anschließend intakte periphere Netzhautareale foveal verortet sind. Ziel einer Transplantation bestimmter Zellen ist es, degenerierte Zellen durch gesunde Zellen zu ersetzen und so wieder ein normales Funktionsspektrum herzustellen. Die aktuelle Forschung an *Stammzellen* gibt hier Anlass zur Hoffnung (Eter, 2009). All diese Methoden sind nicht generalisiert anwendbar, sondern nur unter strengen Voraussetzungen. Häufig zeigen sie auch eine unspezifische Wirkung, so dass gesundes Gewebe ebenso Schaden davon tragen kann. Weiterhin finden die Verfahren nur Anwendung, wenn eine feuchte Form der AMD vorliegt.

Ein weiteres Ziel der medizinischen Therapie kann eine *Reduzierung des Zellwachstums* sein. Dafür werden sogenannte Wachstumshemmer (*Anti-Vascular Endothelial Growth Factor*, kurz *Anti-VEGFs*) verabreicht. Die am häufigsten verwendete Substanz ist *Ranibizumab*, bekannter unter dem Präperatsnamen *Lucentis*, welche AMD-Patienten mit einer feuchten Form gespritzt wird. Nachdem für dieses Medikament eine Visusstabilisierung oder sogar -verbesserung festgestellt wurde, ließ man es 2007 in Europa zu (Rosenfeld et al., 2006; Brown et al., 2009; Mohr-Andrä & Mohr, 2007). Das Fixationsverhalten (Stabilität und retinale Lage der Fixation) verbesserte sich ebenso nach der Verabreichung von Ranibizumab (Pearce, Sivaprasad & Chong, 2011). Beim Vorliegen einer feuchten AMD werden aber auch diese Verfahren eingeschränkt angewendet, da ein maladaptives Zell-

wachstum lediglich hier in Erscheinung tritt.

*Nahrungsergänzungsmittel* werden insbesondere bei der trockenen Form verwendet, aber auch prophylaktisch empfohlen. Wie unter den Risikofaktoren (Abschnitt 2.5, S. 19) erläutert, verstärkt eine lebenslange Lichtexposition die Produktion freier Radikale. In bestimmten Nahrungsmitteln bzw. Nahrungsergänzungsmitteln finden sich sogenannte *Radikalfänger*, das heißt, sie binden die freien Radikale und weisen antioxidative Eigenschaften auf. Zu diesen Bestandteilen gehören Vitamin C und E, Lutein, Betacarotin, Flavonoide und Polyphenole (Eter, 2009). Aber auch ungesättigte Omega-3-Fettsäuren werden als positiv einwirkend diskutiert. In einer großangelegten Langzeitstudie (*Age-Related Eye Disease Study*; kurz *AREDS*) bzw. deren Nachfolgestudie (*AREDS2*) wurden 3640 bzw. 4000 Patienten mit diversen AMD-Formen und in verschiedenen AMD-Stadien mit unterschiedlich zusammengesetzten Nahrungsergänzungsmitteln untersucht. Die für optimal befundene Zusammensetzung wirkte progressionsverlangsamend bei Patienten, die in einem fortgeschritteren Stadium waren. Die Symptome waren aber nicht regressiv. Bei Patienten in Frühstadien zeigten sich weder positive, noch negative Auswirkungen, obgleich eine prophylaktische Wirkung der Nahrungsergänzungsstoffe diskutiert wird (mehr Details unter: *Age-Related Eye disease Study 1*, 2011; *Age-Related Eye disease Study 2*, 2013).

## B.2 Rehabilitationsprogramme

Die meisten *ophthalmologischen Rehabilitationsmaßnahmen* zielen auf eine Verbesserung oder Wiederherstellung der Lesefähigkeit ab, da diese in den westlichen Kulturen als Schlüsselqualifikation für Unabhängigkeit, Kommunikation, geistige Mobilität und Lebensqualität steht (Eter, 2009). Wichtige physiologische Faktoren, welche die Lesefähigkeit bestimmen, sind die Sehschärfe, die Konstrastsensititvät sowie die Größe des Gesichtsfeldes (Pijnacker, Verstraten, van Damme, Vandermeulen & Steenbergen, 2011, S.712). Wie eingangs des Kapitels bereits erwähnt, nimmt die Sehschärfe und der wahrgenommene Kontrast mit zunehmender Exzentrizität ab. AMD-Patienten fixieren mit fortschreitendem Krankheitsverlauf exzentrisch (Tabelle 3.2.1, S. 29). Außerdem erleidet die Größe des Gesichtsfeldes häufig eine Limitierung. Optische oder elektrische Sehhilfen gestalten die dargebotenen Informationen (beim Lesen: der Text) vergrößert, kontrastreicher oder stärker beleuchtet. Hier stehen diverse Geräte und Methoden zur Verfügung: Vergrößerung durch Handlupen, Lupenbrillen, Teleskope, Bildschirmlesegeräte und Videobrillen; Kontrastverstärkung durch Filtersysteme; Beleuchtung durch uv-freie und blendfreie externe Lichtquellen (Eter, 2009). Die Erfolge der ophthalmologischen Maßnahmen werden

als sehr gut berichtet (Nguyen, Weismann & Trauzettel-Klosinski, 2008). Besonders interessant könnten hier Entwicklungen im Bereich der virtuellen Realitäten sein. Die Umwelt kann verändert (z.B. vergrößert) in bestimmte retinale Areale projiziert werden. Tragbare Systeme könnten einen Einsatz im alltäglichen Leben ermöglichen (Starner et al., 1997; Kleweno, Seibel, Viirre, Kelly & Furness, 2001). Sehhilfen werden allerdings meist am Seh-Ist-Zustand des Patienten für festgelegte Tätigkeiten angepasst. Progressive Veränderungen der Symptomatik sind ebenso schwierig zu berücksichtigen wie alternierende Alltagsanforderungen.

## B.3 Trainingsprogramme

Trainingsprogramme zentrieren Handlungsoptionen des Patienten und stellen somit individuell angepasste Konzeptionen dar. Man kann hier zwischen *Bedienprogrammen* und *Kompensationsstrategien* unterscheiden. Erstere sollen dem Patienten dabei helfen, ergriffene Rehabilitationsmaßen durchzuführen. Darunter kann beispielsweise eine Einweisung in die Bedienung eines elektronischen Lesegerätes fallen. Kompensationsstrategien zielen auf die Akkommodation auf die sich veränderten visuellen Bedingungen. Wie sich die Sehbedingungen und damit die verschiedenen Parameter der Augenbewegung beim Vorliegen einer AMD wandeln, wurde in Kapitel 3 genauer behandelt. Hier seien schon jene Punkte kurz vorweggenommen, auf welche sich diverse Trainingsprogramme beziehen. Im Vordergrund stehen dabei die Anpassung bzw. die Übung der Nutzung an bzw. von retinal exzentrischen Fixationsorten (*Exzentrisches Blicktraining*), die *Kontrolle der Augenbewegungen* sowie das *perzeptuelle Lernen*.

Pijnacker et al. (2011) fassten in einem Überblickartikel 18 Studien zusammen, welche sich mit Trainingsprogrammen für AMD-Patienten zur Verbesserung der Lesefähigkeit beschäftigten. Grundlage für die jeweiligen Programme sind Annahmen darüber, wie Maße der oben angesprochenen Ebenen in optimaler Weise ausgeprägt sein müssten, um die Lesefähigkeit, häufig gemessen mit der Lesegeschwindigkeit, zu verbessern.

### B.3.1 Exzentrisches Blicktraining

Wie in Kapitel 3 genauer zu erfahren ist, zentrieren AMD-Patienten ihren Blick peri- oder parafoveal, zumeist links- oder unterseitig von der Fovea (dem eigentlich zentralen Fixationsort im gesunden menschlichen Auge) (Guez et al., 1993). Studien haben allerdings zeigen können, dass eine Verschiebung der Fixation in das rechte visuelle Feld die positivsten Effekte auf das Lesen hat (Lingnau, Schwarzbach & Vorberg, 2008). Diese Erkenntnis erscheint unter der Annahme sinnvoll, dass im Falle einer rechtsseitigen exzentrischen Fixation das Skotom nicht auf den noch zu lesenden Text fällt und somit das Lesen des Textes mit dem gewählten retinal peripheren Areal möglich ist.
Die Trainingsprogramme zum exzentrischen Schauen arbeiten zunächst mit Orientierungssymbolen (z.B. Linien). Um die optimale exzentrische Fixationsstelle zu finden, werden beispielsweise zunächst ein Fixationskreuz und ein Buchstabe präsentiert. Während der Buchstabe immer an der gleichen Position bleibt, wird das Fixationskreuz mehr und mehr exzentrisch verschoben. Die Patienten sollen es fixieren und angeben, wann sie den Buchstaben sehen. Die Position im visuellen Feld, die das Fixationskreuz einnimmt, wenn die Erkrankten den Buchstaben sehen können, wird als Fixationsort für die Übung definiert. In anderen Studien wurden Resultate von der Mikroperimetrie benutzt, um den optimalen exzentrischen Fixationsort zu finden. Bei den anschließenden Leseübungen wurden die ersten Durchläufe mit Hilfe von Orientierungssymbolen realisiert, welche später sukzessive entfernt werden. Die bei Pijnacker et al. (2011) eingeschlossenen Studien berichteten durchweg (fünf von sieben signifikant) einen positiven Trainingseffekt auf die Lesegeschwindigkeit.
Um ein solches Training verwirklichen zu können, muss man *einen* retinalen Ort festlegen, welcher für die Lösung *einer* bestimmten Aufgabe als optimal bewertet wurde (Pijnacker et al., 2011). Diesen *einen* optimalen Ort scheint es allerdings bei AMD Patienten nicht zu geben. Wie in Kapitel 3 dargestellt, entwickeln viele Patienten multiple Fixationsorte (Déruaz, Whatham, Mermoud & Safran, 2002). Die Limitierung auf eine Aufgabe stellt ein weiteres Problem dar. Auch wenn Lesen eine wichtige Tätigkeit in unserer westlichen Kultur ist, gibt es eine Reihe basaler Aufgaben, die andere Ansprüche an das visuelle System stellen (z.B. visuelle Suche). Ein weiteres Problem sehe ich darin, dass die Übungen monokular durchgeführt wurden. Das Blickverhalten im Alltag ist aber binokular. Die Frage inwiefern monokular festgelegte Fixationsorte, ebenso unter binokularen Blickbedingen gelten, konnte bisher nicht einschlägig beantwortet werden. (detaillierte Diskussion siehe Abschnitt 3.3).
Im Gegensatz zu den eben berichteten Befunden, konnten andere Forscher keinen Effekt der Lage des exzentrischen Fixationsortes mit der Lesegeschwindigkeit entdecken (Crossland & Rubin, 2006; Fletcher, Schuchard & Watson, 1999). Sie verzeichneten viel-

mehr eine Zunahme von Lesefähigkeiten mit einer verbesserten okulomotorischen Kontrolle der Patienten.

### B.3.2 Kontrolle der Augenbewegung

Normalerweise bewegen wir unsere Augen, ohne dass wir uns dieser Motorik gewahr sind. Um die Bewegungen der Augen zu veranschaulichen wurden sie häufig mit Tönen verknüpft (detailierte Übersicht Pijnacker et al., 2011). Hall und Ciuffrida (2001) instruierten die Patienten einen gleichmäßigen Rhythmus zu erzeugen und trainierten somit eine Stabilisierung der Okulomotorik. Andere gaben auditive Rückmeldungen, wenn die Fixation eines Zielreizes mit dem neuen exzentrischen Fixationsort erfolgte (Vingolo, Cavarretta, Domanico, Parisi & Malagola, 2007). Seiple, Szlyk, McMahon, Pulido und Fishman (2005) ließen gezielt sakkadische Bewegungen üben. 2011 ergänzten die Autoren das sakkadische Training durch andere Module. In dem ersten Modul (*visual awarness and eccentric viewing*) versuchten sie den AMD Erkrankten einen Eindruck zu vermitteln, wie es ist, exzentrisch zu fixieren und übten die exzentrische Wahrnehmung. Im zweiten Modul (*control of reading eye movements*) war die Einübung von gezielten Sakkaden mit Buchstabenmaterialen vordergründig. Das dritte Modul (*reading practice with sequential presentation of lexical information*) zielt auf die Fähigkeit ab, Wörter ohne sakkadische Bewegungen zu lesen. Auch diese Form des Trainings weist positive Effekte auf die Lesegeschwindigkeit auf. In einer weiteren Studie von (Nguyen, Stockum, Hahn & Trauzettel-Klosinski, 2011) wurden zwei Methoden der unterstützenden Wort- bzw. Textpräsentation miteinander verglichen. In der *Rapid Serial Visual Presentation* (*RSVP*) werden schnell einzelne Wörter präsentiert während der Proband eine Bildschirmstelle fixiert. Unter der Annahme, einzelne Wörter können ohne sakkadische Bewegungen wahrgenommen werden, soll diese Aufgabe die Kontrolle von Sakkaden fördern. Die *Moving Window Technique* beruht auf einem sensomotorischen Ansatz, bei welchem gezielt bestimmte Textausschnitte gezeigt werden. Hierbei soll eher die kontrollierte Bewegung der Augen geübt werden. Insgesamt scheint eine Stabilisierung der Augenbewegungen moderat positive Effekte (fünf von zehn Studien signifikant) auf die Lesegeschwindigkeit bei AMD Patienten zu haben (Pijnacker et al., 2011).
Vorteil eines Trainings der okulomotorischen Kontrolle gegenüber eines *eccentric viewing* Trainings ist meiner Meinung nach eine generalisierte Einsetzbarkeit, da es weniger von konkreten Fixationsorten, noch von der Aufgabe abhängt und häufig binokular durchgeführt wird. Dennoch bleibt kritisch anzumerken, dass zum einen eine erhöhte Stabilisierung von Augenbewegungen, insbesondere der mikro-anteiligen, nicht einschlägig als positiv bewertet wurde und zum anderen die Testvariabel in den beschriebenen Trainings meist ausschließlich die Lesegeschwindigkeit war.

### B.3.3 Perzeptuelles Lernen

Im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Trainingsprogrammen richtet sich perzeptuelles Lernen auf Langzeitveränderungen und damit mehr auf neuronale Modifizierungen denn auf erlernte aufgabenspezifische Strategien (Yu, Legge, Park, Gage & Chung, 2010). Laut der Zusammenfassung von Pijnacker et al. (2011) zeigten perzeptuelle Trainingsstudien für eine exzentrische Wahrnehmung bei jungen Probanden (Yu, Legge et al., 2010; Sommerhalder et al., 2003), bei älteren Teilnehmern (Yu, Cheung, Legge & Chung, 2010) und bei Patienten mit MD (Nguyen et al., 2011) positive Effekte auf die Lesegeschwindigkeit (neun von 13 signifikant). Die Ergebnisse bei jungen Probanden fallen jedoch einschlägiger aus als die von AMD-Patienten (z.B. Ergebnisse von Seiple, Grant & Szlyk, 2011 versus Nguyen et al., 2011). Chung (2010) argumentiert darüber hinaus, dass die visuelle Plastizität bei Älteren eingeschränkt sei und Resultate, welche für junge Probanden bzgl. des perzeptuellen Lernens gewonnen wurden nicht unmittelbar übertragbar wären. Bis heute scheint die Frage, inwiefern neuro-plastische Veränderungen bei AMD durch die veränderte Wahrnehmungssituation einsetzen, kontrovers diskutiert (pro z.B. Masuda, Dumoulin, Nakadomari und Wandell (2008); kontra z.B. Baseler et al. (2011)). In jedem Fall ist diese Frage interessant, da die Fovea (1.25°) mit 20% der primären visuellen Kortexoberfläche verbunden ist und man sich nach heutigen Erkenntnissen kaum vorstellen kann, dass sich die nun verstärkt benutzten retinal peripheren Areale nicht mit diesen Bereichen des Kortex assoziieren. Offen scheint außerdem die Frage zu sein, auf welche Fähigkeit das perzeptuelle Lernen wirkt - auf eine damit verbundene Erweiterung der visuellen Spanne bzw. Verteilung der Aufmerksamkeit (Chung, 2010) bzw. Lee und Markowitz (2010) oder auf eine Adaptation der Augenbewegung an non-foveale Sakkaden wie von Sommerhalder et al. (2003) vorgeschlagen.

**Abkürzungen**

AMD: Altersbedingte Makuladegeneration

MD: Makuladegeneration

PRL: preferred retinal locus

# Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich, Carolin Wienrich, geboren am 14.07.1984, an Eides Statt, dass ich meine Dissertation mit dem Titel: „Die Verteilung von Aufmerksamkeit bei zentralem Sehverlust“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel genutzt habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Ich versichere außerdem, dass ich die beigefügte Dissertation nur in diesem und keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe und, dass diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsverfahren vorausgegangen sind.

Berlin, den 21.01.2015

Carolin Wienrich