

Abstract

The aim of the present thesis was to investigate how location-, feature-, and object-based attentional selection affects perceptual processing in the visual system and how these selection processes are controlled. Experiments 1 and 2 employed fMRI (Exp. 1) and EEG/MEG (Exp. 2) to investigate how activity elicited by motion-stimuli is modulated by feature-based attention, thus testing the validity of the feature-similarity gain model at the population level. The results from Experiment 1 show, that feature-based attention modulates hemodynamic activity in area hMT in a direction-selective manner, while attentional control regions displayed the opposite pattern. In continuation of the first experiment, Experiment 2 revealed a parametric direction-selective modulation of ERP/ERMF amplitudes by feature-based attention starting as early as 200 ms after stimulus-onset. In Experiment 3 the subject of investigation was extended into the spatial domain: Hemodynamic modulations were compared when attentional selection was based on a stimulus' location, its constituent features, or both. The highest activations were observed when attentional selection was based on a stimulus' spatial location. Relatively smaller modulations were observed when stimuli presented at the attended location were selected based on their constituent features, while for stimuli presented at unattended locations increased feature-selective activity was only visible in motion- but not in color-sensitive regions. These data suggest that spatial attention appears to be the most efficient selection-mechanism in vision, and indicate that a stimulus' motion is more efficiently targeted by feature-based attention than its color. Experiment 4, finally, was conducted to elucidate the mechanisms of attentional control during voluntary and stimulus-driven attention-shifts between objects and locations. The results show that different types of shifts recruit a common fronto-parietal network, in which modulations only differ in magnitude. In dorsal fronto-parietal regions increased activity was observed during goal-directed orienting, while ventral fronto-parietal areas showed a partially opposing pattern. Similar to ventral fronto-parietal cortex, default-mode network regions showed the highest responses during stimulus-driven spatial reorienting, while they were consistently deactivated when attention under voluntary control. Taken together, these results imply that attention is controlled by a complex interplay within one unitary network of fronto-parietal and default-mode network regions, in which processing-resources are dynamically distributed in dependence of the particular attentional demands.

Zusammenfassung

Eine typische natürliche Alltagsszenerie umfasst eine schier überwältigende Fülle sensorischer Informationen. Unser Gehirn ist jedoch nur in der Lage einen begrenzten Teil dieses sensorischen Inputs simultan mit hinreichend großer Präzision zu verarbeiten. Aus diesem Grund müssen relevante Informationen priorisiert und von irrelevantem Input separiert werden um einen Überschuss an Information zu vermeiden. In diesem Zusammenhang spielt Aufmerksamkeit eine grundlegende Rolle, da sie einen der grundlegenden Mechanismen darstellt, welcher uns hilft unsere Ressourcen auf die relevanten Aspekte eines Ereignisses zu fokussieren und irrelevanten Input dabei zu ignorieren. Wichtig ist hierbei, dass dieser Selektionsprozess auf Grundlage von räumlichen Gegebenheiten, nicht-räumlichen Stimulusattributen wie z.B. Farbe oder Bewegung, oder sogar aufgrund eines ganzen Objektes als holistischer Entität (d.h. als integriertes Ganzes aus seinen Einzelmerkmalen) erfolgen kann. Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es vor diesem Hintergrund zu untersuchen wie räumliche und merkmalsbasierte Selektionsmechanismen die perzeptuelle Verarbeitung im visuellen System beeinflussen. Darüber hinaus sollte in einem weiteren Experiment auch erforscht werden wie die Steuerung dieser Selektionsprozesse neuronal implementiert ist.

In den ersten beiden Experimente der vorliegenden Arbeit wurde mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT; Experiment 1) bzw. mittels simultaner Elektro-/ Magnetoenzephalographie (EEG/MEG; Experiment 2) untersucht, wie die neuronale Verarbeitung sich bewegender transparenter Oberflächen durch merkmalsbasierte Aufmerksamkeitsallokation beeinflusst wird. Dabei sollte unter anderem überprüft werden ob die vom „Feature-Similarity Gain Model“ prädizierten multiplikativen Modulationen infolge merkmalsbasierter Aufmerksamkeitsallokation auf der Ebene neuronaler Populationsantworten nachweisbar sind. Zu diesem Zweck wurde in Experiment 1 ein Paradigma verwandt, in welchem die Aufmerksamkeit der Probanden auf eine von zwei möglichen Bewegungsrichtungen gelenkt wurde und die nachfolgend präsentierten „random-dot“ Stimuli dabei in ihrer Bewegungsrichtung und in ihrer Kohärenz variierten. Dies ermöglichte es den Einfluss von

richtungsspezifischer Aufmerksamkeit auf die Verarbeitung von Stimuli unterschiedlicher Kohärenz zu untersuchen, welche sich entweder in oder entgegengesetzt zur attendierten Richtung bewegten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Höhe der hämodynamischen Aktivierungen in hMT positiv mit der Bewegungskohärenz der Stimuli korreliert wenn die Bewegungsrichtung der Stimuli attendiert wurde und spiegelte damit die Verhaltensperformanz der Studienteilnehmer wider. Bewegten sich die Stimuli jedoch entgegengesetzt zur attendierten Richtung waren auch die hämodynamischen Aktivierungen entgegengesetzt: Die Modulationen in hMT zeigten einen inversen Zusammenhang mit der Stimuluskohärenz. Dieses spezifische Aktivierungsmuster fand sich ausschließlich in hMT. Im Fundus des intraparietalen Sulkus (fIPS) und im Thalamus fand sich demgegenüber eine positive lineare Korrelation zwischen Aktivierungshöhe und Stimuluskohärenz welche unabhängig von merkmalsbasierter Aufmerksamkeit zu beobachten war. Attentionalen Kontrollstrukturen zeigte schließlich ein dem in hMT entgegengesetztes Aktivierungsmuster: Die höchsten Aktivierungen wurden infolge Stimuli niedriger Kohärenz beobachtet, d.h. sie korrelierten mit der jeweiligen Aufgabenschwierigkeit. Zusammengenommen unterstützen somit die Ergebnisse aus Experiment 1 die innerhalb des „Feature-Similarity Gain Models“ formulierte Annahme, dass merkmalsbasierte Aufmerksamkeit neuronale Aktivierungen auch auf Populationsebene in multiplikativer Weise moduliert.

In Anlehnung an das erste Experiment wurde in Experiment 2 der räumlich-zeitliche Verlauf merkmalsbasierter Aufmerksamkeitseffekte mittel EEG und MEG untersucht. Dabei war es die Aufgabe der Probanden auf die Bewegungsrichtung einer transparenten Oberfläche im linken visuellen Feld zu achten und eine kurzzeitig erhöhte Bewegungsgeschwindigkeit zu detektieren. Im rechten visuellen Feld wurde eine zweite transparente Oberfläche präsentiert welche sich periodisch in verschiedene Richtungen bewegte. Alle diese Stimulusbewegungen im rechten visuellen Feld waren dabei völlig Aufgabenirrelevant. Die durch diese Bewegungen ausgelösten ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) und Magnetfelder (EKMFs) wurden nun hinsichtlich ihrer Amplitude und Latenz miteinander verglichen. Dabei zeigte sich

eine parametrische Negativierung der EKP- und EKMF-Amplituden im Zeitbereich zwischen 200 und 400 ms in Abhängigkeit der Ähnlichkeit der Bewegungsrichtung des evozierenden Stimulus zu jener des attendierten Stimulus. Somit zeigen diese Daten eine parametrische, richtungsselektive Modulation evozierter Potentiale infolge merkmalsbasierter, attentionaler Selektion. Damit liefern sie, wie schon Experiment 1, einen weiteren Beweis für die Gültigkeit des „Feature-Similarity Gain Models“ auf neuronaler Populationsebene und unterstreichen darüber hinaus die globale Wirksamkeit merkmalsbasierter Aufmerksamkeit. Allerdings zeigten die hier beschriebenen Modulationen einen relativ späten Beginn (~ 200 ms) im Vergleich zu vorherigen Studien, was möglicherweise auf die Aufgabenanforderungen bzw. die Stimuluseigenschaften zurückzuführen ist.

Im dritten Experiment wurde der Untersuchungsgegenstand um den Bereich der räumlichen Aufmerksamkeit erweitert. Um die funktionelle Beziehung zwischen orts- / und merkmalsbasierter Aufmerksamkeit zu untersuchen, wurden hämodynamische Modulationen zwischen Situationen verglichen, in denen Aufmerksamkeit auf die räumliche Position eines Stimulus, eines seiner Merkmale, oder auf beides gerichtet war. Hierbei fanden sich die höchsten Aktivierungen, wenn die Selektion auf der Stimulusposition beruhte, unabhängig von seiner Merkmalszusammensetzung. Geringere Modulationen zeigten sich für die merkmalsbasierte Selektion von Objekten, die innerhalb des Aufmerksamkeitsfokus präsentiert wurden. Merkmalsselektive Aktivierungen für Stimuli, die räumlich nicht attendiert waren, konnten jedoch nur in bewegungs- jedoch nicht in farbsensitiven Arealen nachgewiesen werden. Zusammengefasst zeigen diese Daten, dass innerhalb der visuellen Domäne räumliche Aufmerksamkeit den effizientesten Selektionsmechanismus darstellt. Sie legen darüber hinaus nahe, dass das Objektmerkmal „Bewegung“ ein besseres Ziel für die merkmalsbasierte Selektion eines Stimulus darstellt als seine Farbe.

Das letzte Experiment der vorliegenden Arbeit (Experiment 4) widmete sich schließlich der Untersuchung der neuronalen Mechanismen, welche die volitionale bzw. stimulusinduzierte Aufmerksamkeitsverschiebungen zwischen Objekten bzw.

räumlichen Koordinaten kontrollieren. Die Resultate dieses Experimentes zeigen, dass die verschiedenen Arten von Aufmerksamkeitsverschiebungen (willkürlich/ stimulusinduziert und räumlich/ objekt-basiert) alle ein gemeinsames Netzwerk fronto-parietaler Areale rekrutieren. Dabei unterscheiden sich die verschiedenen Bedingungen lediglich in der Höhe ihrer Modulationen innerhalb verschiedener Teile dieses fronto-parietalen Netzwerkes: In dorsalen Arealen finden sich die höchsten Modulationen wenn Aufmerksamkeit willkürlich kontrolliert wird, während ventrale Regionen ein entgegengesetztes Bild zeigen. Ähnlich wie im ventralen fronto-parietalen Kortex fanden sich auch in Regionen des „Default-Mode-Network“ die höchsten hämodynamischen Antworten, wenn Aufmerksamkeit exogen getriggert räumlich umorientiert wurde, wohingegen sie mit einer Deaktivierung reagierten, wenn Aufmerksamkeit volitionaler Kontrolle unterlag. Zusammengefasst zeigen diese Ergebnisse, dass verschiedene Aufmerksamkeitsprozesse durch ein komplexes Zusammenwirken innerhalb eines einheitlichen Netzwerkes von ventralen und dorsalen fronto-parietalen sowie „Default-Mode-Network“ Regionen gesteuert wird, wobei Verarbeitungsressourcen je nach Aufgabenanforderungen dynamisch innerhalb dieses Netzwerkes distribuiert werden können.