

Neural Correlates of Target Detection in the Attentional Blink

Zusammenfassung

Einführung

Der Attentional Blink ist ein Phänomen der zeitlichen Aufmerksamkeit, welches Ende der 1980er Jahre zum ersten Mal beschrieben wurde (Broadbent & Broadbent, 1987; Reeves & Sperling, 1986; Weichselgartner & Sperling, 1987). Dieses Phänomen tritt dann auf, wenn in einer schnellen Folge visueller Reize mehrere Zielreize entdeckt bzw. identifiziert werden sollen. Die Reize, meist Zahlen, Buchstaben oder Bilder, werden üblicherweise mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 pro Sekunde gezeigt. Charakteristischer Weise sinkt die Leistung für einen zweiten Zielreiz (T2), wenn dieser etwa 200-400 ms nach einem ersten Zielreiz (T1) erscheint¹. Meist ist die Leistung besser bei kürzeren Abständen zwischen den beiden Zielreizen. Ebenfalls erholt sie sich bei längeren Abständen. Dieser u-förmige Verlauf der Leistung für T2 gab dem Attentional Blink seinen Namen: Würde T1 ein Blinzeln (englisch ‚blink‘) der Augen auslösen, so würde sich dies ähnlich auf die T2-Leistung auswirken (Raymond, Shapiro, & Arnell, 1992). Im Fall des Attentional Blink blinzeln aber nicht die Augen, sondern es wird angenommen, dass die Aufmerksamkeit vorübergehend beeinträchtigt ist.

In zahlreichen Studien wurden in den letzten Jahren die Bedingungen genauer untersucht, unter denen ein Attentional Blink auftritt. Aus den Ergebnissen dieser Studien resultierten verschiedene Modelle zur Erklärung des Attentional Blink. Die beiden am meisten diskutierten sind dabei das Interferenz-Modell von Shapiro und Mitarbeitern (Isaak, Shapiro, & Martin, 1999; Shapiro, Raymond, & Arnell, 1994) und das Zwei-Phasen-Modell von Chun und Potter (1995). Im Interferenz-Modell wird davon ausgegangen, dass zunächst einmal automatisch alle Reize soweit verarbeitet werden, dass eine perzeptuelle Repräsentation entsteht. Dabei werden die Reize gewichtet, und diejenigen, die einem Muster des Zielreizes entsprechen, erhalten ein großes Gewicht. Ebenfalls ein großes Gewicht erhalten die Reize, die den potentiellen Zielreizen unmittelbar folgen. Letztere werden auch

¹ ‚T‘ bezieht sich auf das Wort ‚target‘, dem englischen Begriff für Zielreiz.

als Maske bezeichnet. Aufgrund ihrer Gewichtung werden Zielreize und Masken dann in einen visuellen Kurzzeitspeicher (oder auch Arbeitsgedächtnis, Vogel, Luck, & Shapiro, 1998) transferiert. Im Kurzzeitspeicher tritt Interferenz zwischen Masken und Zielreizen auf. Nur die Reize, die sich dabei durchsetzen, werden aus dem Kurzzeitspeicher abgerufen und können berichtet werden. Da T1 als erster in den Speicher gelangt und außerdem das größte Gewicht hat, ist er in diesem Wettkampf meist erfolgreich. Im Gegensatz dazu muss sich T2 gegen die eigene und die Maske von T1 durchsetzen, was oft nicht gelingt. Daher kann T2 häufig nicht berichtet werden oder es treten Fehler bei der Identifikation von T2 auf. Das Zweistufen-Modell des Attentional Blinks geht gleichfalls davon aus, dass in einer ersten Stufe alle Reize perzeptuell repräsentiert werden. Die Identifikation von T1 führt laut diesem Modell dazu, dass dieser in die zweite Verarbeitungsstufe (Arbeitsgedächtnis, vgl. Vogel, et al., 1998) gelangt. Hier wird die Repräsentation von T1 konsolidiert, so dass der Zielreiz stabil repräsentiert ist und berichtet werden kann. Während sich T1 in der zweiten Stufe befindet, ist diese für keinen anderen Reiz zugänglich. Erscheint T2 in diesem Zeitraum, kann er nicht konsolidiert werden. So lange T2 auf den Transfer nach Stufe 2 wartet ist er dafür anfällig, zu verblassen oder durch einen anderen Reiz überschrieben zu werden.

Trotz der großen Anzahl der Verhaltensstudien zum Attentional Blink ist relativ wenig über seine neuronalen Korrelate bekannt. Diese sind in verschiedener Hinsicht von Interesse. Die Modelle zum Attentional Blink machen verschiedene Aussagen bezüglich des Engpasses bei der Verarbeitung von T2, woraus sich wiederum unterschiedliche Vorhersagen bezüglich der T2-bezogenen neuronalen Aktivität ergeben. Daher kann die Untersuchung neuronaler Korrelate einen wichtigen Beitrag zu der Diskussion liefern, welches Modell zum Attentional Blink den besten Erklärungsansatz darstellt. Andererseits ist noch immer unklar, wie der typische u-förmige Zeitverlauf des Attentional Blink zustande kommt. Kürzlich wurde ein Modell vorgestellt (Fell, Klaver, Elger, & Fernandez, 2002) in dem postuliert wird, dass der zeitliche Verlauf des Attentional Blink durch die Unterdrückung ereignis-korrelierter elektrischer Aktivität des Gehirnes im Gamma-Frequenzband erklärt werden kann. Durch die Untersuchung dieser neuronalen Variable im Kontext des Attentional Blink kann eine Überprüfung der Hypothese von Fell und Mitarbeitern erfolgen. Letztlich werden während des Attentional Blink identische Zielreize manchmal bewusst wahrgenommen und manchmal nicht gesehen. Damit hat der Attentional Blink bzw. die Untersuchung dessen neuronaler Begleiterscheinungen auch Relevanz für die Erforschung neuronaler Korrelate von Wahrnehmungsbewusstsein. So wurde zum Beispiel die ereignis-korrelierte Gamma-Aktivität

des Gehirnes nicht nur mit aufmerksamkeitsbezogener Selektion (Fell, Fernandez, Klaver, Elger, & Fries, 2003; Niebur, Hsiao, & Johnson, 2002), sondern auch mit Wahrnehmungsbewusstsein (Engel & Singer, 2001) in Verbindung gebracht.

In der vorliegenden Arbeit werden vier Studien vorgestellt, in denen neuronale Korrelate des Attentional Blink untersucht wurden. Das besondere Augenmerk dieser Studien liegt auf den neuronalen Korrelaten der Zielreizverarbeitung. Die erste Studie befasst sich mit ereignis-korrelierten Potentialen (EKP) des Elektroenzephalogramms (EEG) in Bezug auf entdeckte und nicht entdeckte Zielreize. Studie 2 stellt die Ergebnisse eines Experiments dar, in dem der Attentional Blink mit Hilfe der funktionellen Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) untersucht wurde. Auch in dieser Studie wurde die neuronale Aktivität für entdeckte und nicht entdeckte Zielreize verglichen. Zusätzlich wurde auch die neuronale Aktivität zu objektiv nicht vorhandenen Zielreizen erfasst, um Aussagen darüber zu treffen, wie sich die Verarbeitung nicht vorhandener von nicht gesehenen Zielreizen unterscheidet. Studie 3 beschreibt die Untersuchung evozierter Gamma-Aktivität im Kontext des Attentional Blink. Da in dieser Studie keine evozierte Gamma-Aktivität gemessen werden konnte, wurde ein weiteres Experiment, Studie 4, durchgeführt. In diesem Experiment wurde anhand eines stark vereinfachten Versuchsaufbaus überprüft, ob unter der Bedingung einer sehr schnellen Präsentation von Reizen evozierte Gamma-Aktivität gemessen werden kann. Diese Studien erbrachten die nachfolgend zusammengefassten Ergebnisse.

Ergebnisse und Diskussion

In der ersten Studie (Kranczioch, Debener, & Engel, 2003) untersuchte ich die P3 Komponente des EKP im Attentional Blink. In einer früheren Arbeit (Vogel, et al., 1998) fand man Hinweise darauf, dass diese während des Attentional Blinks vollständig unterdrückt wird. Dieser Befund wurde dahingehend interpretiert, dass die Information bezüglich T2 generell das Arbeitsgedächtnis nicht erreicht. Rolke und Mitarbeiter (Rolke, Heil, Streb, & Hennighausen, 2001) fanden aber, dass nur nicht entdeckte Zielreize keine P3 auslösen. Ziel der ersten Studie war es, die Befunde von Rolke et al. zu replizieren und zu überprüfen ob sie für verschiedene Abstände zwischen T1 und T2 verallgemeinerbar sind. Dazu wurde T2 100, 200, oder 700 ms nach T1 präsentiert. Die Auswertung der EKP erfolgte verhaltensbasiert, d.h. getrennt für entdeckte und nicht entdeckte Zielreize. Wir fanden das T2 die nach 700 ms, aber auch nach 200 ms, präsentiert und von den Probanden entdeckt wurden, eine P3 auslösten. Eine gleichartige Veränderung der der P3 vorausgehenden frontalen P2 konnten

wir nicht beobachten. Für den 100 ms T1-T2 Abstand konnten wir keine klare P3 feststellen. Dies könnte damit erklärt werden, dass für sehr kurze Abstände zwischen T1 und T2 die neuronale Aktivität stark überlappt, und dass es daher schwierig ist, diese sauber zu trennen. Dass eine P3 für T2, die nach 200 ms (also während des Attentional Blink) präsentiert wurden, beobachtet werden konnte ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass ein Teil der T2 Reize das Arbeitsgedächtnis erreicht und dort erfolgreich weiterverarbeitet wird. Dieses Ergebnis stützt Modelle des Attentional Blink die davon ausgehen, dass der Engpass in der Verarbeitung von T2 vor dem Arbeitsgedächtnis liegt. Es ist aber auch mit der Annahme verträglich, dass T2 das Arbeitsgedächtnis zwar erreicht, hier aber nicht erfolgreich weiterverarbeitet werden kann.

Den in der EKP-Studie gefundene Unterschied zwischen entdeckten und nicht entdeckten Zielreizen verfolgte ich in einer ereignis-korrelierten fMRT-Studie zum Attentional Blink weiter (Kranczioch, Debener, Schwarzbach, Goebel, & Engel, eingereicht). Die hämodynamische Aktivität in vier verschiedenen Bedingungen wurde verglichen: entdeckte und nicht entdeckte Zielreize mit kurzem Abstand zu T2, entdeckte Zielreize mit langem Abstand zu T2, und korrekt zurückgewiesene T2 (der Zielreiz war nicht vorhanden). In visuellen Hirnregionen (lateral okzipitaler Kortex, Gyrus Fusiformis) war die Aktivität am höchsten für nicht entdeckte Zielreize. Die bewusste Wahrnehmung von Zielreizen hingegen war mit Aktivität in einem Netzwerk aus frontalen und parietalen Hirnarealen assoziiert. Als besonders sensitiv erwies sich eine Region im linken lateral-frontalen Kortex. Aber auch nicht entdeckte Zielreize führten im Vergleich zu korrekt zurückgewiesenen T2 zu Aktivierungen in parietalen und frontalen Arealen. Diese Aktivierungen waren aber geringer ausgeprägt als die Aktivität, die mit der Entdeckung von Zielreizen assoziiert war. Diese Ergebnisse passen gut zu bisherigen Untersuchungen der neuronalen Korrelate von Wahrnehmungsbewusstsein (Beck, Rees, Frith, & Lavie, 2001; Portas, Strange, Friston, Dolan, & Frith, 2000; Shulman, et al., 2003) und zum Attentional Blink (Marcantoni, Lepage, Beaudoin, Bourgouin, & Richer, 2003; Marois, Chun, & Gore, 2000; Marois, Yi, & Chun, 2004). Auch sie deuten darauf hin, dass ein frontoparietales Netzwerk darin involviert zu sein scheint, welche Inhalte aus sensorischen Hirnarealen ausgelesen und somit bewusst werden. In Bezug auf den Attentional Blink implizieren die Resultate der fMRI-Studie, dass auch nicht entdeckte Zielreize über eine reine sensorische Repräsentation hinaus verarbeitet werden. Sie erlangen dabei aber nicht den Grad an Aktivierung der notwendig wäre, um bewusst abrufbar zu werden. Dies spricht für eine Erweiterung der Attentional Blink Modelle um eine weitere Stufe, die der perzeptuellen

Repräsentation folgt, aber dem Arbeitsgedächtnis vorgelagert ist. Nicht entdeckte Reize gelangen in diese Zwischenstufe, gehen von dort aber aufgrund einer limitierten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses häufig verloren. Ein solcher Ansatz findet sich bei Vogel und Kollegen (Vogel, et al., 1998) als ein Hybrid-Modell zwischen Interferenz- und Zweistufen-Modell des Attentional Blink.

Ein weiterer Aspekt vorliegender Arbeit war die Untersuchung einer Hypothese zur funktionellen Relevanz der frühen evozierten Gamma-Antwort (EEGR²) für den Zeitverlauf des Attentional Blink. Die EEGR ist eine Komponente der hochfrequenten evozierten elektrischen Aktivität des Gehirnes, welche in der visuellen Modalität eine Frequenz von etwa 40 Hz besitzt und ihr Maximum circa 100 ms nach Reizpräsentation erreicht. Evozierte Aktivität ist durch Phasenkonstanz gekennzeichnet, das heißt, sie hat immer den gleichen zeitlichen Bezug zum Reiz. Es wurde postuliert, dass der Attentional Blink durch eine Unterdrückung der T2-bezogenen EEGR durch die T1-bezogene P3 Komponente verursacht wird (Fell, et al., 2002). Diese Überlegung basiert unter anderem darauf, dass Attentional Blink und P3 einen ähnlichen Zeitverlauf haben und das die EEGR in Beziehung zu aufmerksamkeitsbezogener Selektion von Information zu stehen scheint (siehe auch Fell, et al., 2003). Zur schrittweisen Annäherung an die Überprüfung der EEGR-Hypothese zum Attentional Blink, konzentrierte ich mich bei der Analyse der EEG-Daten zunächst einmal darauf, die EEGR im Attentional Blink-Kontext zu messen. Dazu wurde mit Hilfe der Wavelet-Analyse Gamma-Aktivität in Bezug auf einzelne Zielreize untersucht. Diese waren T1-Reize auf die kein T2-Reiz, sondern nur irrelevante Reizen folgten. Leider konnten weder ein Anstieg der EEGR für T1-Reize noch andere systematische Veränderungen der evozierten Gamma-Aktivität beobachtet werden. Da aber die Prüfung einer Hypothese die Messbarkeit der abhängigen Variable(n) voraussetzt, wurde auf eine weitere Prüfung der EEGR-Hypothese anhand der T2-Reize verzichtet.

Im Kontext des klassischen Attentional Blink-Experimentes konnte keine Modulation der evozierten Gamma-Aktivität für Zielreize nachgewiesen werden. In einem stark vereinfachten EEG-Experiment (Kranczioch, Debener, Herrmann, & Engel, eingereicht) untersuchte ich, ob die Größe der Reize und die Gesamtzahl ausgewerteter Reize zu diesem Null-Ergebnis beigetragen haben könnten. Hierfür wurden visuelle Reize von

² EEGR - early evoked gamma response

unterschiedlicher Größe benutzt, welche mit einer Frequenz von 10 Hz präsentiert wurden. Die Reizsequenz bestand größtenteils aus schwarzen Buchstaben. Vereinzelt erschienen grüne Zielbuchstaben, welche von den Probanden gezählt wurden. Insgesamt gab es 100 Zielreize. In den EKPs unterschieden sich Ziel- und Standardreize signifikant nach circa 140 ms. Die Wavelet-Analyse zeigte keine zielreizbezogenen Effekte in der evozierten Gamma-Aktivität. Im Gegensatz dazu gab es einen späten (470-650 ms) Anstieg induzierter, d.h. nicht phasenkonstanter, Gamma-Aktivität. Die Größe der Reize hatte keinen Einfluss auf das Ausmaß dieser induzierten Gamma-Band Antwort (IGBR³). In Bezug auf die EEGR deuten die Ergebnisse dieser und der Attentional Blink Studie darauf hin, dass die EEGR möglicherweise für die Zielreizverarbeitung im Attentional Blink weniger relevant ist als von Fell und Kollegen (2002) angenommen. Die Ergebnisse sind allerdings kein Beleg dafür, dass die Hypothese von Fell und Kollegen nicht zutrifft. So kann nicht ausgeschlossen werden, dass es intrakranial zielreizbezogene Gamma-Aktivität gab, welche aufgrund einer Überlagerung durch visuell evozierte Potentiale nicht im EEG erfasst werden konnte. Diese Frage bedarf weiterer Untersuchung, und könnte möglicherweise in einem vom Versuchsaufbau her stark reduzierten Attentional Blink-Experiment adressiert werden.

Schlussfolgerung

Mit der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich die elektrophysiologischen und hämodynamischen Korrelate für entdeckte und nicht gesehene Zielreize im Attentional Blink unterscheiden. Dies bedeutet für zukünftige neurophysiologische Studien zum Attentional Blink, dass diese beiden Bedingungen getrennt voneinander ausgewertet werden sollten. Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Einschränkung bei der Verarbeitung von Zielreizen beim Attentional Blink vor der Stufe des Arbeitsgedächtnisses, aber nach der Stufe der perzeptuellen Repräsentation liegt. Dies legt nahe, dass der für den Attentional Blink kritische Engpass in einer Zwischenstufe liegen könnte, die dem Arbeitsgedächtnis vor- und der perzeptuellen Repräsentation nachgeschaltet ist. Die beiden wichtigsten Modelle zum Attentional Blink, das Interferenz-Modell und das Zwei-Phasen-Modell, postulieren aber nur zwei Stufen, die der perzeptuellen Repräsentation und die des Arbeitsgedächtnisses. Insgesamt scheint es sinnvoll, Modelle zur Erklärung des Attentional Blink um eine

³ IGBR – induced gamma-band response

Zwischenstufe zu erweitern. Eine solche Erweiterung wurde ebenfalls vorgeschlagen von Vogel et al. (1998).

Eine frühe evozierte Gamma-Antwort auf die Präsentation von Zielreizen wurde nicht beobachtet. Eine kausale Rolle dieser Variable für den zeitlichen Verlauf des Attentional Blink konnte daher nicht überprüft werden. Weiterhin reihen sich die Ergebnisse gut ein in bisherige Befunde zu neuronalen Korrelaten von Wahrnehmungsbewusstsein. Sie unterstützen die Sichtweise, dass für das Zustandekommen einer bewussten Wahrnehmung nicht eine einzelne Hirnregion, sondern die komplexen Interaktionen eines weit verzweigten Netzwerkes verantwortlich sind. Zukünftige Forschung sollte sich verstärkt darum bemühen, die zeitliche Dynamik dieser Interaktionsprozesse detailliert zu beschreiben.

Referenzen

- Beck, D.M., Rees, G., Frith, C.D., & Lavie, N. (2001). Neural correlates of change detection and change blindness. *Nature Neuroscience*, 4(6), 645-50.
- Broadbent, D.E., & Broadbent, M.H. (1987). From detection to identification: response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception & Psychophysics*, 42(2), 105-13.
- Chun, M.M., & Potter, M.C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 109-27.
- Engel, A.K., & Singer, W. (2001). Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(1), 16-25.
- Fell, J., Fernandez, G., Klaver, P., Elger, C.E., & Fries, P. (2003). Is synchronized neuronal gamma activity relevant for selective attention? *Brain Research: Brain Research Reviews*, 42(3), 265-72.
- Fell, J., Klaver, P., Elger, C.E., & Fernandez, G. (2002). Suppression of EEG gamma activity may cause the attentional blink. *Consciousness and Cognition*, 11(1), 114-22.
- Isaak, M.I., Shapiro, K.L., & Martin, J. (1999). The attentional blink reflects retrieval competition among multiple rapid serial visual presentation items: tests of an interference model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(6), 1774-92.
- Kranczoch, C., Debener, S., & Engel, A.K. (2003). Event-related potential correlates of the attentional blink phenomenon. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 17(1), 177-87.
- Kranczoch, C., Debener, S., Herrmann, C.S., & Engel, A.K. (eingereicht). EEG gamma band activity in rapid serial visual presentation.
- Kranczoch, C., Debener, S., Schwarzbach, J., Goebel, R., & Engel, A.K. (eingereicht). An event-related fMRI study on visual awareness in the attentional blink paradigm.
- Marcantoni, W.S., Lepage, M., Beaudoin, G., Bourgouin, P., & Richer, F. (2003). Neural correlates of dual task interference in rapid visual streams: an fMRI study. *Brain & Cognition*, 53(2), 318-21.
- Marois, R., Chun, M.M., & Gore, J.C. (2000). Neural correlates of the attentional blink. *Neuron*, 28(1), 299-308.

- Marois, R., Yi, D.J., & Chun, M.M. (2004). The neural fate of consciously perceived and missed events in the attentional blink. *Neuron*, 41(3), 465-72.
- Niebur, E., Hsiao, S.S., & Johnson, K.O. (2002). Synchrony: a neuronal mechanism for attentional selection? *Current Opinion in Neurobiology*, 12(2), 190-4.
- Portas, C.M., Strange, B.A., Friston, K.J., Dolan, R.J., & Frith, C.D. (2000). How does the brain sustain a visual percept? *Proceedings of the Royal Society London Part B: Biological Sciences*, 267(1446), 845-50.
- Raymond, J.E., Shapiro, K.L., & Arnell, K.M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(3), 849-60.
- Reeves, A., & Sperling, G. (1986). Attention gating in short-term visual memory. *Psychological Review*, 93(2), 180-206.
- Rolke, B., Heil, M., Streb, J., & Hennighausen, E. (2001). Missed prime words within the attentional blink evoke an N400 semantic priming effect. *Psychophysiology*, 38(2), 165-74.
- Shapiro, K.L., Raymond, J.E., & Arnell, K.M. (1994). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(2), 357-371.
- Shulman, G.L., McAvoy, M.P., Cowan, M.C., Astafiev, S.V., Tansy, A.P., d'Avossa, G., & Corbetta, M. (2003). Quantitative analysis of attention and detection signals during visual search. *Journal of Neurophysiology*, 90(5), 3384-97.
- Vogel, E.K., Luck, S.J., & Shapiro, K.L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(6), 1656-74.
- Weichselgartner, E., & Sperling, G. (1987). Dynamics of automatic and controlled visual attention. *Science*, 238(4828), 778-80.