

Laura Doll
Dr. sc. hum.

Influence of arousal, attention and confidence on the perception of auditory near-threshold stimuli

Fach/Einrichtung: Neurologie
Doktorvater: Prof. Dr. med. Alexander Gutschalk

Die vorliegende Arbeit untersuchte den Einfluss von Aufmerksamkeit und Arousal auf die Verarbeitung schwelennaher auditorischer Reize. Außerdem wurde die Rolle des Entscheidungskriteriums untersucht, zusammen mit der Frage, ob es verschiedene Abstufungen in der Wahrnehmung einfacher Reize gibt, oder ob es sich um ein alles-oder-nichts Phänomen handelt. Zu diesem Zwecke wurden drei Experimente mit unterschiedlichen Bildgebungstechniken durchgeführt: Zwei Messungen mit Magneto- und Elektroencephalographie, und eine mit funktioneller Magnetresonanztomographie, die jeweils mit Pupillometrie kombiniert wurde. Die Aufnahme der Pupille diente dabei dazu, die Aktivität des Locus Coeruleus und anderer Kerngebiete die das Arousal kontrollieren, wiederzugeben.

In Experiment 1 hörten die Studienteilnehmer kontinuierliches weißes Rauschen mit schwelennahen Tönen und salienteren Amplitudenmodulationen des Rauschens. In drei Durchläufen mit identischer Stimulation mussten die Teilnehmer im ersten und letzten Teil die Rauschmodulationen detektieren, im mittleren Teil die schwelennahen Töne. Die genauen Inhalte der Stimulation waren ihnen unbekannt, sie wurden nur über die jeweiligen Zielreize informiert. Die schwelennahen Töne wurden nur im mittleren Teil detektiert, und von der Hälfte der Probanden auch gelegentlich im letzten Teil, nachdem sie sich im vorhergehenden Abschnitt an die Detektion der Töne gewöhnt hatten. Entsprechen evozierten diese Töne nur dann signifikante neuronale Aktivität, wenn sie aufgabenrelevant waren. Dann aber evozierten auch die nicht gehörten Töne signifikante Hörkortexaktivierung und Pupillendilatation. Im Gegensatz dazu hatte die Aufgabe einen geringeren Einfluss auf die Verarbeitung der salienteren Rauschmodulationen. Sie wurden in allen Abschnitten wahrgenommen und evozierten eine entsprechende Hörkortexaktivierung. Eine Pupillendilatation wurde hingegen nur gemessen, wenn die Rauschmodulationen aufgabenrelevant waren. Erwartungsgemäß war die entscheidungsbezogene P3b-Komponente des evozierten Potenzials nur für detektierte Zielreize messbar.

In Experiment 2 wurden dieselben schwelennahen Reize in kurzen Rauschintervallen präsentiert. Nach jedem Intervall gaben die Hörer mittels sechs verschiedener Antwortoptionen an, wie sicher sie sich waren, dass ein Ton präsentiert worden war. Es gab je drei Optionen für wahrgenommene und nicht wahrgenommene Töne: Ton war sicher/ziemlich sicher/unsicher aber vermutlich enthalten bzw. nicht enthalten. Mit dieser Herangehensweise konnte überprüft werden, ob die Aktivierung im Hörkortex und die Pupillendilatation, die in Experiment 1 für nicht gehörte Töne beobachtet wurden, auf eine Fehlklassifizierung unsicher wahrgenommener Töne zurückzuführen ist, oder ob die neuronale Aktivität graduell abnimmt und somit an die Stärke der Wahrnehmung gekoppelt ist. Ersteres wäre mit einem bimodalen, letzteres mit einem unimodalen Modell der Wahrnehmung vereinbar. Obwohl das Kriterium im Mittel liberaler war als in Experiment 1 (1.6 ± 0.4 bzw. 0.6 ± 0.4 Mittelwert und Standardabweichung), reproduzierten die Wellenformen von gehörten und nicht gehörten Tönen gemittelt über die drei Sicherheitsstufen die vorherigen Ergebnisse. Demnach ist die Aktivität für nicht gehörte Töne nicht auf eine Fehlklassifizierung durch ein zu strenges Kriterium zurückzuführen. Die graduell abnehmenden Amplituden der Pupillen- und Hörkortexantwort sind weiterhin ein Indiz für eine ebenfalls graduelle Wahrnehmung. Die P3b erscheint hingegen eher bimodal, dies könnte aber von der Variabilität der Latenzen herrühren. Pupille, Hörkortexaktivierung und P3b konnten alle gut durch ein Modell basierend auf der "Signal Detection Theory" beschrieben werden, welches einen kontinuierlichen Zusammenhang zwischen neuronaler Aktivität und Wahrnehmung vorhersagt.

In einem ergänzenden psychoakustischen Experiment wurde die Bewertung anhand der Sicherheit mit einer Bewertung der Hörbarkeit verglichen, die laut einer anderen Studie Hinweise auf eine bimodale Wahrnehmung liefert. Die vorliegenden Ergebnisse stützen diesen Befund nicht. Außerdem schätzten die Probanden im Mittel, dass Töne in 5-6 verschiedenen Lautstärken präsentiert wurden, obwohl alle Töne identisch waren. Dies impliziert, dass die Wahrnehmung physikalisch identischer Reize nicht nur zwischen Gehörtem und Nicht-Gehörtem, sondern zwischen verschiedenen Intensitäten variiert.

In Experiment 3 wurde der Einfluss von Aufmerksamkeit auf die auditive Wahrnehmung weiter untersucht und involvierte Netzwerke des Gehirns identifiziert. Die Stimulation war ähnlich zu Experiment 1, mit dem Unterschied, dass anstelle der Rauschmodulationen saliente amplitudenmodulierte Töne als Distraktorreize verwendet wurden. In drei Durchläufen wurde durch die verschiedenen Aufgabenstellungen (passives Zuhören, Detektion der salienten Töne und Detektion der schwelennahen Töne) die Aufmerksamkeit auf die auditorische Stimulation sukzessive gesteigert. Dadurch zeigte sich im Hörkortex bereits im zweiten Durchgang eine signifikante Aktivierung durch die schwelennahen Töne, obwohl diese noch nicht bewusst wahrgenommen wurden. Insgesamt ähnelte die Hörkortexaktivierung der in den vorherigen Experimenten gemessenen, mit signifikanter Aktivierung für gehörte und nicht gehörte schwelennahe Töne sowie den salienten Distraktorreizen. Auch in Gebieten des cingulo-opercularen Netzwerks wurde Aktivierung für nicht detektierte Zieltöne gemessen. Desweiteren zeigte dieses Netzwerk höhere Aktivierung vor Tönen die anschließend detektiert wurden, als vor Tönen die nicht detektiert wurden. Dieser Effekt ähnelt dem Einfluss des Arousal auf die Detektion, der aber quadratisch ist, der Zusammenhang von Detektion und Hirnaktivität hingegen vermutlich monoton. Damit kann ein direkter Zusammenhang zwischen dem Arousal und der Hirnaktivität vor Einsetzen des Reizes in diesem Netzwerk ausgeschlossen werden. Die Korrelation von Pupillengröße und Hirnaktivität zeigte eine weitreichende Wechselwirkung zwischen Arousal und kortikaler Aktivierung, auch im cingulo-opercularen Netzwerk. Dies legt einen komplexeren Zusammenhang zwischen diesem Netzwerk und der Pupillengröße nahe. Eine explorative Auswertung der Aktivierung im Hirnstamm zeigte ähnliche Korrelationen und Aufmerksamkeitsmodulationen wie im Kortex. Zukünftige Messungen mit verbesserter räumlicher Auflösung könnten untersuchen, wie sich diese Aktivierungsmuster in den verschiedenen Kernen des Hirnstamms unterscheiden und welche der Kerne an den Modulationen des Arousal beteiligt sind.

Zusammenfassend bestätigt diese Arbeit die Bedeutung von Aufmerksamkeit und Arousal auf die Verarbeitung auditiver Reize, und liefert Hinweise auf einen differenziellen Aufmerksamkeitsffekt. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die neuronale Aktivität in direktem Zusammenhang mit der Stärke der Wahrnehmung steht. Dies ist ein Indiz dafür, dass Wahrnehmung nicht bimodal sondern graduell ist.