

Der Einfluss von Aufmerksamkeit auf die Schallortung

Bernhard H. Gaese, Anja Johnen, Sebastian Moeller und Hermann Wagner

Institut für Biologie II, RWTH Aachen, Kopernikusstr. 16, D-52074 Aachen

In der natürlichen Umwelt ist man häufig einer komplexen akustischen Szenerie ausgesetzt, die sich aus vielen, zum Teil gleichzeitig auftretenden Schallquellen zusammensetzt. Mit der Perzeption aller dieser möglichen Quellen ist das Gehirn in der Regel überfordert, da seine Verarbeitungskapazitäten begrenzt sind. Um mit der möglichen Reizüberflutung sinnvoll umzugehen wurden bei Wirbeltieren Mechanismen der selektiven Aufmerksamkeit entwickelt. Diese haben zwei wichtige Eigenschaften: Sie sind erstens selektiv, d.h. die Perzeption wird auf einen Teil der Szene beschränkt, der als verhaltensrelevant erachtet wird. Zum zweiten werden dann durch Mechanismen der Orientierung von Aufmerksamkeit die Verarbeitungskapazitäten auf diesen Teil der Szene gelenkt, so dass die verhaltensrelevanten Objekte im Detail analysiert und bewusst verarbeitet werden können.

Die Verhaltenseffekte von räumlich-selektiver Aufmerksamkeit beim Hören lassen sich bei einfachen Verhaltensweisen, wie z.B. beim Vorgang der Schallortung sehr gut untersuchen. Beim Vorgang der Schallortung, oder dem Schalllokalisations-Verhalten, wird zuerst eine Schallquelle in der Umwelt detektiert und anschließend eine Hinwendereaktion auf die Schallquelle hin gezeigt. Daraus lässt sich ein Verhaltensparadigma entwickeln, in dem der Effekt von Aufmerksamkeit gut quantifiziert werden kann: Die Aufmerksamkeit wird dabei zuerst durch einen Hinweisreiz in eine bestimmte Richtung ausgelenkt. Die Ausrichtung erfolgt dabei verdeckt, d.h. ohne sichtbare Verhaltensreaktion. Die Hinwendereaktion erfolgt erst auf den anschließend präsentierten Zielreiz hin, der entweder aus der Richtung des vorherigen Hinweisreizes oder aus einer anderen Richtung präsentiert

wird (sog. Cueing-Paradigma). Die Reaktionen in diesen beiden Situationen können nun durch Reaktionszeiten und Fehlerraten quantifiziert und miteinander verglichen werden.

Wir haben Schleiereulen (*Tyto alba*) in einem derartigen Paradigma erfolgreich untersucht. Schleiereulen sind Ansitzjäger, die in der Dunkelheit hauptsächlich Mäuse jagen. Sie verlassen sich dabei fast vollständig auf ihr Gehör, bei dem eine hohe Genauigkeit für die Schalllokalisation entwickelt ist. Als "Spezialisten für Schallortung" wurden Schleiereulen zu einem Modellorganismus, bei dem die neuronalen Grundlagen der Schallortung mit den zu Grunde liegenden Mechanismen sehr weitgehend untersucht sind.

Die bisherigen Untersuchungen wurden in definierten Laborsituationen mit sehr einfachen Reizsituationen gemacht. Unsere experimentellen Ansätze zielen nun darauf ab, in zunehmend komplexen Situationen die Schallortung in einem Kontext zu untersuchen, der näher an den Verhältnissen in der natürlichen Umgebung ist. Dazu gehört zum Beispiel der Einfluß von früher gesammelter Information über die Umwelt, wie sie sich dann auf eine gegebene Schallortungs-Situation bemerkbar macht. Auf kurzen Zeitskalen kann dies z.B. über die Lenkung von Aufmerksamkeit erfolgen.

Diese modulierenden Einflüsse, die im Allgemeinen zu eher kognitiven Modulationen des Verhaltens gezählt werden, sind im Zusammenhang mit der Verarbeitung von Hörinformation nur schlecht untersucht. Besonders die neuronalen Grundlagen und Wirkmechanismen sind kaum bekannt. Durch einen neuroethologischen Ansatz, d.h. eine Kombination von Verhaltensuntersuchungen und elektrophysiologischen Methoden, können diese

Fragen nun bei geeigneten Modellorganismen untersucht werden.

In einem crossmodalen Ansatz wurden Schleiereulen in einem Orientierungs-Paradigma trainiert, wobei zuerst durch visuelle Hinweisreize (LEDs, in Vorausrichtung) die Aufmerksamkeit gelenkt wurde und die Auswirkung auf die Verarbeitung von anschließend präsentierten akustischen Zielreizen (Rauschpuls aus einem peripheren Lautsprecher) untersucht wurde.

Es zeigte sich, dass die mittleren Reaktionszeiten der Kopfdrehbewegung der Eule auf den Rauschpuls hin in der sog. validen Konfiguration, d.h. wenn der Hinweisreiz die Seite des Zielreizes korrekt vorhergesagt hatte, um ca. 40 ms gegenüber der invaliden Situation (Aufmerksamkeit auf Gegenseite zum Zielreiz) beschleunigt waren. Allerdings zeigte sich kein Effekt der Ausrichtung von Aufmerksamkeit auf die Genauigkeit der Lokalisationsbewegung.

Nach neuronalen Korrelaten der Aufmerksamkeitsverschiebung haben wir auf der Eben des Mittelhirns, im Tectum opticum, gesucht. Diese Struktur ist essenziell an der Vermittlung der Kopfbewegung beim Schalllokalisationsverhalten beteiligt. Zum einen finden sich dort sog. "raumspezifische Neurone", die sehr präzise die Richtung einer aktiven Schallquelle angeben können. Zum anderen können durch Reizung an diesen Stellen sehr genaue Orientierungsbewegungen des Kopfes in Richtung auf die dort repräsentierten Schallquellen ausgelöst werden. Die Frage war nun, in wie weit dieser Übergang von der Sensorik zur Motorik von einem modulierenden Einfluss wie Aufmerksamkeit beeinflusst wird.

Es zeigte sich, dass die Aktivität im Tectum opticum auf der Seite erhöht wurde, auf welche die Aufmerksamkeit hingelenkt wurde. Diese differenzielle Aktivierung baute sich (in korrekten Durchläufen) während der Präsentation des

Hinweisreizes auf und hielt mehr oder weniger stark an bis zur Verhaltensantwort, die ja über diese Seite vermittelt wurde. Entsprechend wurden auch die mit Aufmerksamkeit belegten Rauschpulse stärker beantwortet. Auch in den Pausen zwischen Hinweisreiz und Zielreiz, bzw. zwischen Zielreiz und Verhaltensantwort hielt sich die verstärkte Aktivierung der mit Aufmerksamkeit belegten Seite.

Für das auditorische System hat diese Ausrichtung von Aufmerksamkeit möglicherweise eine besonders hohe Bedeutung, da das Hörsystem bei den meisten höheren Tieren mehr oder weniger omnidirektional ist. Es gibt weder Richtungen aus denen überhaupt nichts gehört werden kann, noch gibt es eine Fovea, d.h. einen Bereich extremer Empfindlichkeit, wie es im Sehsystem vielfach der Fall ist. Durch gerichtete Aufmerksamkeit kann damit zentral im Hörsystem die Verarbeitung mit einer "Richtungsbevorzugung" belegt werden, die bei der Analyse in schwierigen Hörsituationen sehr von Vorteil sein kann. Auch bei Schleiereulen, die bei der Erkennung von Beute oft nahe der Detektionsgrenze arbeiten, sind solche Mechanismen sicher von großer Bedeutung.

Die Erkennung in solch schwierigen Situationen kann außerdem durch die Integration von Information aus verschiedenen Sinnesmodalitäten verbessert werden. Ein konkreter Mechanismus ist die hier gezeigte crossmodale Ausrichtung der Aufmerksamkeit, dass also durch visuelle Hinweisreize verschobene Aufmerksamkeit eine Wirkung auf auditorische Informationsverarbeitung hat. Dies ist außerdem als ein Hinweis darauf zu werden, dass zumindest ein Teil des Aufmerksamkeitssystems über die Sinnesmodalitäten hinweg organisiert ist.

Diese Arbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1001 "Sensomotorische Integration" finanziell unterstützt.