

Verarbeitung interauraler Merkmale beim Menschen: eine EEG-Studie

Birger Kollmeier, Helmut Riedel, Jörg Damaschke
Medizinische Physik, Universität Oldenburg, D-26111 Oldenburg

Ziel unserer Untersuchungen im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 517 »Neurokognition« ist die Frage, wo und wie die »räumliche Karte« der äußeren akustischen Umwelt in unserem Gehirn gebildet wird. Eine mögliche Hypothese ist die Auswertung von »primitiven Merkmalen« wie interauralen Zeit- und Pegeldifferenzen im Hirnstamm, während im Cortex diese Merkmale (zusammen mit weiteren Merkmalen) zu »auditorischen Objekten« zusammengesetzt werden. Um diese Hypothese zu prüfen, ist die Frage wichtig, wo interaurale Zeitdifferenzen und interaurale Pegeldifferenzen verrechnet werden. Bei einer Verrechnung im Hirnstamm wäre von einer Umsetzung beider Größen direkt in einem Lateralisations- bzw. Lokalisations-Perzept auszugehen. Alternativ würden interaurale Zeit- und Pegeldifferenzen getrennt voneinander im Hirnstamm ausgewertet werden, um auf der kortikalen Ebene jeweils als »Time«-Image bzw. »Intensity«-Image abrufbar zu sein, die dann zu einem Objekt zusammengefügt werden. Zur Klärung dieser Fragen wurden einerseits frühe akustisch evozierte Potentiale und andererseits späte Potentiale (Odd Ball Paradigma bei der Mismatch-Negativity) bei normalhörenden Menschen für verschiedene Kombinationen von interauralen Zeit- und Pegeldifferenzen durchgeführt.

Frühe akustisch evozierte Potentiale

Bei den Untersuchungen von Riedel und Kollmeier (2001) wurden binaurale frühe akustisch evozierte Potentiale gemessen, indem 100 Mikrosekunden-Clicks bei 15 Hz mittlerer Wiederholrate binaural bei insgesamt 12 Versuchspersonen (drei weiblich, neun männlich, Alter 25 bis 36 Jahre) angeboten wurden. Es wurde bei vier Elektrodenorten mit 10000 Aufnahmen pro Messung in einer verschachtelten Prozedur (»interleaved«) gemessen, wobei sämtliche Kombinationen aus monauralen Stimuli, Stimuli mit einer interauralen Pegeldifferenz von minus 12 dB, 0 dB und plus 12 dB, sowie einer interauralen Zeitdifferenz von minus 0,4 msec, 0 msec und plus 0,4 msec verwendet wurden. Die größte Antwort der click-evozierten Potentiale trat bei der

Welle V bei einer Latenz von im Mittel ca. 5,5 msec auf, wobei diese Antwort konsistent bei allen Versuchspersonen sowie im Mittel aller Versuchspersonen maximal war, wenn der zugehörige Lateralisationseindruck zentriert ist. Mit anderen Worten: Unabhängig von der Art, wie ein zentrierter Lateralisationseindruck entsteht (d. h. sowohl durch eine interaurale Zeit- und Intensitätsdifferenz von 0 dB als auch durch eine gegenläufige Zeit und Intensitätsdifferenz) entsteht immer eine maximale Antwort, wenn subjektiv der Eindruck in der Mitte ist. Um den spezifisch binauralen Anteil der Verarbeitung zu extrahieren, wurden zudem binaurale Differenzpotentiale ermittelt, d. h. die Differenz zwischen binauraler Antwort und der Summe der monauralen Antworten. Die größten Amplituden des binauralen Differenzpotentials traten bei den Wellen DP1 (etwa 5 msec) und DN1 (ca. 6 msec) auf. Trägt man hier ebenfalls die Differenz von DP1 und DN1 für verschiedene interaurale Zeit- und Pegeldifferenzen auf (Abb. 1), so ergibt sich ein ähnliches Bild wie für die Situation vor der Differenzbildung: Eine maximale Antwort im binauralen Differenzpotential lässt sich für die Konditionen erkennen, bei denen ein zentralisierter Lateralisationseindruck entstand.

Aus den Daten von Riedel und Kollmeier (2001) lässt sich daher folgern, dass die größte binaurale Interaktion im Hirnstamm zum Zeitpunkt der Welle V (d. h. ungefähr oberer Olivenkomplex, colliculus inferior und lemniscus laminaris) auftritt und dass eine systematische Abhängigkeit der Potential-Antwort von dem wahrgenommenen Ort auftritt, unabhängig, wie er durch (gegensinnige) Anordnung von interauraler Zeit- und Pegeldifferenz erzeugt wurde. Der gleiche Zusammenhang stellt sich für das binaurale Differenzpotential dar, das als neurophysiologisches Korrelat der binauralen Verarbeitung (d. h. des Unterschiedes zwischen monauraler und binauraler Verarbeitung) anerkannt ist. Diese Daten liefern demnach einen Hinweis darauf, dass interaurale Zeit- und Pegeldifferenzen bereits im Hirnstamm miteinander verrechnet werden, so dass beide Größen im Hirnstamm bereits zu einer gemeinsamen Verarbeitung weitergeleitet werden, die dem subjektiven Lateralisationseindruck zugrunde liegt.

Späte Potentiale mit der Mismatch-Negativity

Um zu prüfen, inwiefern diese Aussage auch für cortikale Potentiale zutrifft und damit die Ergebnisse von Schroeger et al. (1997) zu überprüfen, wurden vergleichbare Messungen mit interauraler Pegel- und Zeitdifferenz sowie synergistischer und

Corresponding author: Prof. Dr. Dr. Birger Kollmeier
AG Medizinische Physik, Fachbereich Physik
Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg
D-26111 Oldenburg
Phone +49 441 7985470
Fax +49 441 7983902
E-mail: birger.kollmeier@uni-oldenburg.de

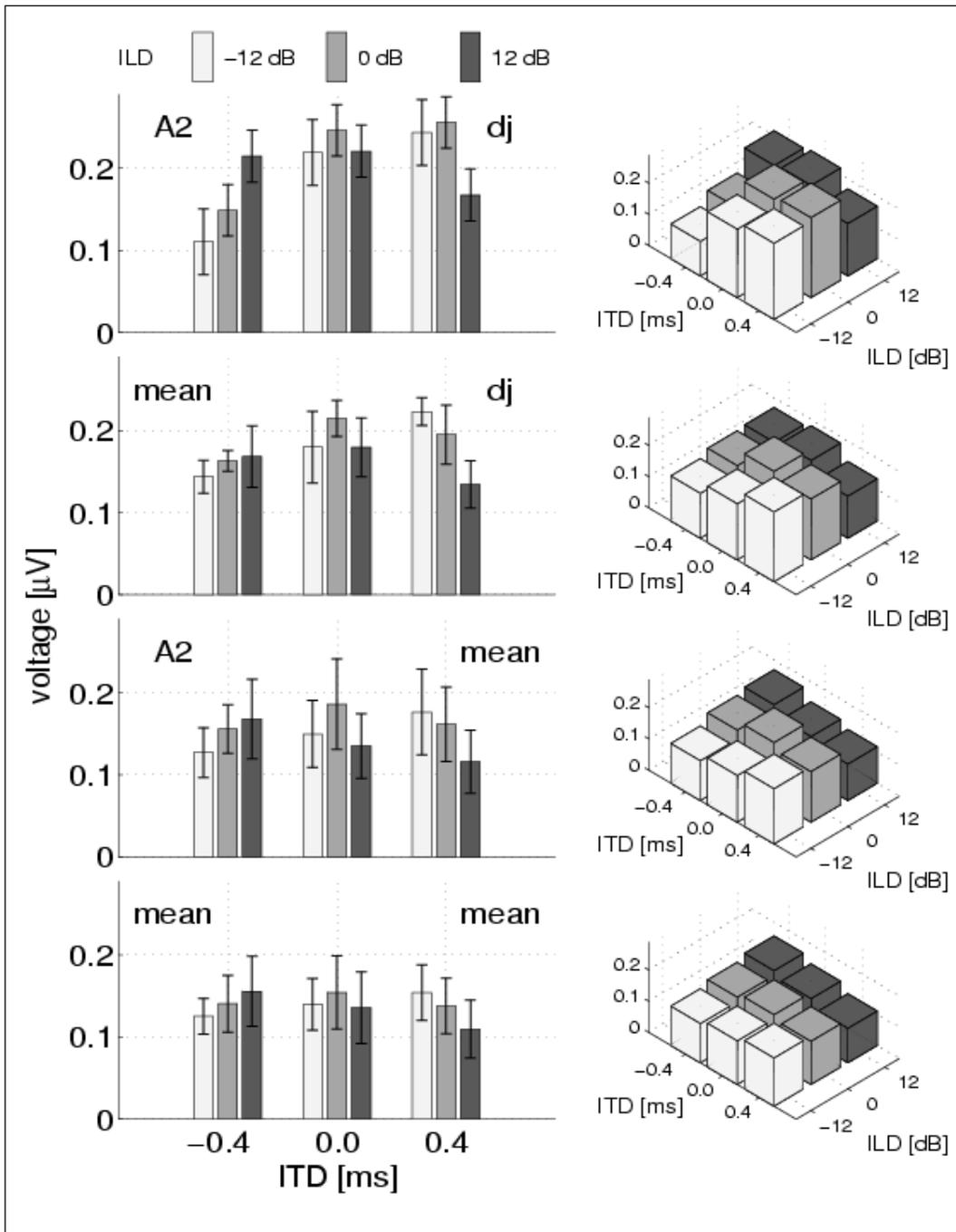


Abb. 1: Amplituden des binauralen Differenzpotentials (Welle DPI-DN1) als Funktion der interauralen Pegeldifferenz (ILD, jeweils markiert durch Helligkeit der Balken) und interauralen Zeitdifferenz (ITD) für click-evozierte Potentiale als zweidimensionale Repräsentation (linke Spalte) bzw. als zugehörige dreidimensionale Repräsentation (rechte Spalte).
Obere Zeile: Daten für Ableitort A2 und VP DJ, die Fehlerbalken repräsentieren den intraindividuellen Standardfehler σ .
Zweite Zeile: Mittel über 4 Ableitungsorte bei VP DJ.
Dritte Zeile: Mittel über 12 Versuchspersonen, Ableitung A2.
Untere Zeile: Mittel über alle Versuchspersonen und alle Ableitungen (aus Riedel und Kollmeier 2001).

antagonistischer Kombination mit dem Paradigma der Mismatch-Negativity durchgeführt (Damaschke 1999). Als Standardreiz wurde jeweils eine ILD und ITD von 0 angeboten, während als Deviant (in 5 % der Fälle mit statistischer Abfolge) entweder eine interaurale Pegeldifferenz, eine interaurale Zeitdifferenz oder eine synergistische bzw. antagonistische Kombination beider Größen unter Verwendung von Click-Stimuli angeboten wurde. Als Mismatch-Negativity wird der Unterschied zwischen der Antwort auf dem Devianten zu der Antwort auf den Standardstimulus bezeichnet, die ein Maximum bei etwa 100 msec (N 100) aufweist. Als Ergebnis zeigte sich bei den Experimenten, dass

die von interauralen Zeit- und Pegeldifferenzen hervorgerufenen Mismatch-Negativity-Werte sich deutlich voneinander unterscheiden. Während die MMN sich bei synergistischen Stimuli fast wie eine Linearkombination aus den Antworten zu den jeweiligen Einzelstimuli interpretieren ließen, ist dies bei antagonistischer Darbietung (Kompensation der interauralen Zeit-Differenz durch eine gegensinnige interaurale Pegeldifferenz) nicht mehr der Fall: Die Antwort lässt sich weder durch eine konstruktive noch durch eine destruktive Überlagerung der Antworten auf die Einzelstimuli erklären. Subjektiv nach ihrer Lateralisation gleich bewerteten Einzelstimuli generieren also unterschiedliche MMNs

je nach interauraler Zeit- oder Pegeldifferenz. Dies lässt sich als eine (zumindest teilweise) unabhängige Verarbeitung von interauraler Pegel- und interauraler Zeitdifferenz interpretieren, so dass auf der kortikalen Ebene (zum Verarbeitungszeitpunkt der Mismatch-Negativity) ein anderes Muster resultiert als bei den frühen akustisch evozierten Potentialen (s. o.). Allerdings stimmt dieses Muster mit dem subjektiven Eindruck überein, dass bei einem »trading« von interauraler Zeit- und Pegeldifferenz der Höreindruck zwar in der Mitte zentralisiert ist, dafür aber etwas breiter bzw. diffuser erscheint als bei der Referenzsituation mit verschwindender Zeit- und Pegeldifferenz.

Insgesamt können die hier vorliegenden Daten daher so gedeutet werden, dass im Hirnstamm eine »echte« binaurale Interaktion nachweisbar ist, die in einer systematischen Abhängigkeit von frühen akustisch evozierten Potentialen (Welle V) und des binauralen Differenzpotentials von der Lateralisation resultiert. Dies gibt Hinweise auf eine Objektbildung bereits im Hirnstamm, z. B. auf der Ebene der oberen Olive bzw. des colliculus inferior und lemniscus lateralis. Die dazu komplementären Befunde der Mismatch-Negativity sprechen für eine teilweise getrennte Verarbeitung, die (ebenso wie der subjektive Eindruck) auf eine separate Abbildung des »Zeit«-Bildes und »Intensitäts«-Bildes im Cortex hindeuten. Dementsprechend scheint die Information über interaurale Zeit- und Pegeldifferenz von einander getrennt noch im Cortex vorhanden zu sein, so dass eine vollständige gegenseitige Verrechnung von interauralen Zeit- und Pegeldifferenzen zur Lateralisierung bzw. Lokalisierung von Objekten nicht erfolgt. Diese Befunde sprechen daher gegen Modelle zur binauralen Verarbeitung, die eine unmittelbare Verrechnung von Zeit- und Pegeldifferenzen zur Ermittlung des Ortes einer Schallquelle annehmen (z. B. das Modell nach Lindemann 1986), während das klassische Jeffress-Modell (1948), das eine Verrechnung nur von interauralen Zeitdifferenzen vorsieht, mit den Befunden kompatibel zu sein scheint.

Gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Sonderforschungsbereich 517, Teilprojekt C2).

Literatur

- Damaschke J* (1999) Psychoakustische und elektroenzephalographische Untersuchungen zur Lateralisation transients Stimuli. Diplomarbeit, Universität Oldenburg
- Jeffress LA* (1948) A place theory of sound localization. *J Comp Physiol Psychol* 41, 35–39
- Lindemann W* (1986) Extension of a binaural cross-correlation model by contralateral inhibition. I. Simulation of lateralization of stationary signals. *J Acoust Soc Am* 80, 1609–1622
- Riedel H, Kollmeier B* (2001) Auditory brain stem responses evoked by lateralized clicks: Is lateralization extracted in the human brain stem? (submitted)
- Schröger E, Tervaniemi M, Winkler I, Näätänen R* (1997). Processing of interaural cues used for auditory lateralization as revealed by the mismatch negativity. *Contributions to Psychological Acoustics: Results of the Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. A. S. a. M. Klatt. BIS, Oldenburg, 49–56