

EKP-Evidenz für obligatorische semantische Verarbeitung von
Umweltgeräuschen

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Guido Alexander Orgs

geboren in Essen

November 2007

Aus dem Institut für Experimentelle Psychologie
der Heinrich-Heine-Heine-Universität Düsseldorf

Gedruckt mit Genehmigung
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Heinrich-Heine-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Prof. Dr. Martin Heil

Koreferent: PD Dr. Petra Jansen-Osmann

Tag der mündlichen Prüfung: 14.12.2007

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	5
1.1. Abstract.....	7
2. Allgemeine Einleitung.....	8
2.1. Die Repräsentation von semantischem Wissen	8
2.2. Semantische Verarbeitung	9
2.3. Semantische Bahnung und die N400.....	10
2.3.1. Evidenz für modale und amodale Ansätze	11
2.3.2. Evidenz für automatische und kontrollierte Prozesse.....	12
2.4. Umweltgeräusche.....	14
2.5. Zentrale Fragestellungen.....	16
3. Experimente	17
3.1. Semantische Bahnung für Wörter und Geräusche im Vergleich	18
3.2. Ist semantische Verarbeitung von Geräuschen obligatorisch?	20
3.3. Obligatorische N400-Effekte für aufgabenirrelevante Geräusche	22
4. Allgemeine Diskussion.....	25
4.1. Wortbedeutung = Geräuschbedeutung?.....	25
4.2. Automatische/kontrollierte Verarbeitung von Geräuschbedeutung.....	26
4.3. Zentrale Thesen	27
5. Ausblick.....	30
5.1. Multimodale Bedeutungsverarbeitung.....	30
5.2. Automatische Bedeutungsverarbeitung	30
6. Literatur	32

7. Einzelarbeiten	39
7.1. Experiment 1	40
7.2. Experiment 2	47
7.3. Experiment 3	53
8. Danksagung	73
9. Erklärung.....	74

1. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit umfasst drei Experimente zur semantischen Verarbeitung von Umweltgeräuschen, untersucht im Paradigma der semantischen Bahnung. Neben Verhaltensmaßen werden hierbei in ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs) N400-Effekte betrachtet. Im ersten Experiment erzeugten Umweltgeräusche im direkten Vergleich mit visuell dargebotenen Wörtern Bahnung im Verhalten sowie ähnliche N400-Effekte. Das zweite Experiment untersuchte semantische Bahnung von Umweltgeräuschen in zwei Aufgaben. Es wurden nur noch Wort-Geräuschpaare verwendet. In der ersten Aufgabe (wie Experiment 1) beurteilten die Teilnehmer, ob Wort und Geräusch eines Paares zusammen passten. In der zweiten (physikalischen) Aufgabe beurteilten die Teilnehmer die Präsentationsseite des Geräuschs. Ähnliche N400-Effekte für Geräusche konnten in beiden Aufgaben beobachtet werden, allerdings wurden die Ergebnisse möglicherweise von Übertragungseffekten durch vorherige explizite semantische Verarbeitung verzerrt. Das dritte Experiment war identisch mit Experiment 2, bis auf zwei Aspekte. Zum einen wurden die zwei Aufgaben in zwei Blöcken getrennt von einander bearbeitet. Hierbei wurde der Block mit der physikalischen Aufgabe immer zuerst dargeboten, um Übertragungseffekte auszuschließen. Darüber hinaus wurden NoGo-Durchgänge eingeführt, in denen die Teilnehmer nicht reagieren sollten. N400-Effekte für Geräusche traten in allen vier Bedingungen auf, waren allerdings kleiner in der physikalischen Aufgabe und in NoGo-Durchgängen. Semantische Bahnung in den Reaktionszeiten zeigte sich nur in Go-Durchgängen der semantischen Aufgabe. Die Ergebnisse von Experiment 1 sprechen somit für ähnliche semantische Verarbeitung von Wörtern und Geräuschen,

möglicherweise im Sinne amodaler semantischer Repräsentationen. Die Experimente 2 und 3 legen demgegenüber nahe, dass semantische Verarbeitung von Geräuschen – wie auch die semantische Verarbeitung von Wörtern – sowohl durch automatische, als auch durch kontrollierte Prozessen bestimmt wird.

1.1. Abstract

Three experiments are described examining conceptual priming for environmental sounds in behavioral as well as electrophysiological measures. The first experiment compares conceptual priming for visually displayed words and environmental sounds presented as second stimuli in word/sound and sound/word pairs. Both types of stimuli elicited similar N400-effects and behavioral priming. In the second study N400-effects to sounds only are reported in two tasks manipulating the level of processing. In the semantic task, participants judged semantic relatedness of word-sound pairs (the same task as in Experiment 1). In the physical task participants judged presentation side of the sound. N400-effects were similar in both tasks. However, results may have been influenced by carry-over effects from the semantic to the physical task. The third experiment was identical to Experiment 2, aside from two aspects. Firstly, the physical and the semantic task were presented in two separate blocks. Moreover, the physical block always preceded the semantic block in order to avoid carry-over effects. Secondly, NoGo-trials were included in both tasks to examine task-irrelevant conceptual processing of sounds. N400-effects to sounds were present in all four conditions, but were smaller in the physical task and in NoGo-trials. Conceptual priming in reaction times could only be observed in Go-trials of the semantic task. The results of Experiment 1 suggest similar semantic processing of environmental sounds and words, as would be postulated by amodal theories of semantic representations. Furthermore Experiments 2 and 3 suggest that semantic processing of environmental sounds may be mediated by automatic as well as controlled processes, again similar to semantic processing of words.

2. Allgemeine Einleitung

Bedeutung lässt sich definieren als die Beziehung zwischen externen Objekten/Ereignissen und dem Wissen, das über diese Objekte/Ereignisse besteht (Caramazza, Hillis, Rapp & Romani, 1990). Paivio (1991) unterscheidet bei der Vermittlung von Bedeutung zwischen symbolischen Modalitäten einerseits und sensorischen Modalitäten andererseits. Auf symbolischer Ebene kann man zwischen einem sprachlichen (verbalen) und einem nichtsprachlichen (nonverbalen) System unterscheiden. Gleichzeitig können semantische Konzepte in mehreren Sinnesmodalitäten vorliegen (sensorische Modalität). So kann ein Wort geschrieben oder gesprochen sein; auch das „Muhen“ (auditiv, nonverbal), oder das Foto (visuell, nonverbal) einer Kuh verweisen auf dasselbe Konzept „Kuh“. Im folgenden sollen zunächst theoretische Ansätze zur Repräsentation und Verarbeitung von Bedeutung dargestellt werden. Im Anschluss wird das Paradigma der semantischen Bahnung als eine wichtige Methode vorgestellt, mit dem die Verarbeitung semantischen Wissens zunächst über Verhaltensmaße, aber auch über elektrophysiologische Verfahren erfasst werden kann. Ausgehend von den Befunden auf der verbalen Ebene, werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede der semantischen Verarbeitung verbaler und nonverbaler Reize erläutert, im speziellen für Umweltgeräusche. Hieraus ergeben sich die zentralen Fragestellungen für die drei Experimente dieser Arbeit.

2.1. Die Repräsentation von semantischem Wissen

Wie ist Bedeutung repräsentiert und wie wird die Bedeutung eines Reizes verarbeitet? Klassische Theorien zu der Frage, wie semantisches Wissen organisiert

ist, lassen sich in *amodale* und *multimodale* Ansätze einteilen. In einer Theorie amodaler Repräsentationen sind die semantischen Inhalte eines Konzepts (z. B. der „Kuh“) nicht unmittelbar Teil der Oberflächeneigenschaften eines Reizes (wie z. B. Farbe oder Lautstärke), sondern Teil eines semantischen (propositionalen) Netzwerks und in diesem Sinne amodal oder modalitäts-unabhängig (Caramazza et al., 1990; Pylyshyn, 1973, 2002). Im Gegensatz dazu ist Bedeutung in multimodalen Modellen (Barsalou, 1999; Paivio, 1991) lediglich eine weitere spezifische Eigenschaft eines Reizes. Dasselbe Konzept ist also mehrfach repräsentiert (z. B. als Bild oder als Wort). So bestehen im dualen Kodierungs-Modell nach Paivio (1991) mindestens zwei voneinander unabhängige Repräsentationssysteme, ein verbal-propositionales und ein nonverbal-bildliches. Darüber hinaus gibt es keine abstrakt repräsentierten Konzepte, lediglich assoziative Verbindungen zwischen den modalitätsspezifischen Systemen, siehe hierzu auch Thompson-Schill (2003) für eine Perspektive aus der funktionellen Bildgebung. Eine Kombination aus beiden Ansätzen stellen hierarchische Modelle dar. Hier sind amodale, semantische Repräsentationen den modalitätsspezifischen, nicht-semantischen Repräsentationen übergeordnet (Engelkamp & Denis, 1990; Engelkamp & Zimmer, 2006; Snodgrass, 1984).

2.2. Semantische Verarbeitung

Neben der Unterscheidung zwischen modalitätsabhängigen und/oder modalitätsunabhängigen Repräsentationen von semantischem Wissen stellt sich auch die Frage, wie die Bedeutung eines Reizes identifiziert beziehungsweise abgerufen wird. So kann es sich bei der Verarbeitung von semantischer Information einerseits um einen *automatischen*, andererseits um einen *kontrollierten* Prozess handeln.

Automatische Prozesse werden hierbei als schnell, unwillkürlich und parallel charakterisiert, wohingegen kontrollierte Prozesse bewusst, seriell und unter kognitivem Aufwand ablaufen (Neely & Kahan, 2001). Ein Verfahren, mit dem sich semantische Verarbeitung auf der Ebene der zugrunde liegenden Repräsentationen (modalitätsabhängig vs. modalitätsunabhängig) und Prozesse (automatisch vs. kontrolliert) untersuchen lässt, ist das Paradigma der semantischen Bahnung.

2.3. Semantische Bahnung und die N400

Im Paradigma der semantischen Bahnung werden zwei Reize kurz aufeinander folgend dargeboten. Hierbei gibt der erste Reiz (Prime) einen semantischen Kontext vor, der zum nachfolgenden Reiz (Probe) entweder passt (assoziiert ist) oder nicht passt (nicht assoziiert ist). Im Vergleich zum nicht assoziierten kann auf den assoziierten Probereiz schneller reagiert werden und die Erkennungsleistung ist erhöht. Insofern wird die Verarbeitung des Probereizes von einem vorangehenden assoziierten Prime erleichtert, Übersichtsarbeiten bieten McNamara (2005) und Neely (1991). Bei konzeptueller Bahnung sind Prime und Probe nicht nur semantisch assoziiert (Kuh-Ochse), sondern betreffen dasselbe Konzept, beispielsweise kann auf das Wort „Kuh“ (verbal, visuell oder auditiv) das Bild (visuell, nonverbal) oder das Muhen (auditiv, nonverbal) einer Kuh folgen. Da es sich hierbei um einen Spezialfall semantischer Bahnung handelt, soll aus Gründen der Konsistenz im folgenden nur noch von semantischer Bahnung gesprochen werden. Neben Verhaltensmaßen äußert sich semantische Bahnung auch in ereigniskorrelierten Potentialen (Bentin, McCarthy & Wood, 1985). Der EKP-Verlauf für nicht assoziierte Probereize ist hierbei negativer als für assoziierte Probereize, typischerweise ab 200 ms (mit

maximaler Amplitude bei ca. 400 ms) nach dem Einsetzen des Probereizes. Dieser N400-Effekt ist gewöhnlich maximal über zentro-parietalen Elektroden und wird mit der Einbettung des Reizes in einen semantischen Kontext in Verbindung gebracht (Kutas & Van Petten, 1994).

2.3.1. Evidenz für modale und amodale Ansätze

Semantische Bahnung bietet also eine Möglichkeit - wie im obigen Beispiel - über symbolische und sensorische Modalitäten hinweg die Verarbeitung von Bedeutung zu untersuchen. Hierbei werden gleiche Bahnungseffekte für verbale und nonverbale Reize eher im Sinne amodaler Repräsentationen, Dissoziationen hingegen eher im Sinne multimodaler Repräsentationen interpretiert, eine Übersichtsarbeit über repräsentative Experimente auf Verhaltensebene bietet Snodgrass (1984). Ein N400-Effekt, also ein negativerer EKP-Verlauf für nicht assoziierte im Vergleich zu assoziierten Reizen, konnte darüber hinaus für Bilder (Barrett & Rugg, 1990; Federmeier & Kutas, 2001; Holcomb & McPherson, 1994; McPherson & Holcomb, 1999; Nigam, Hoffman & Simons, 1992), für Zahlenreihen und Gleichungen (Fogelson, Loukas, Brown & Brown, 2004; Jost, Hennighausen & Rösler, 2004), sowie für Gerüche und musikalische Reize gezeigt werden. Letztere erzeugen einen N400-Effekt allerdings nur, wenn sie als erster Reiz eines Paares dargeboten werden, auf den ein Wort folgt (Castle, Van Toller & Milligan, 2000; Koelsch et al., 2004; Sarfarazi, Cave, Richardson, Behan & Sedgwick, 1999). Lokalisation und Zeitverlauf weisen hierbei oft große Ähnlichkeit zu verbal evozierten N400-Effekten auf. Dementsprechend werden diese Befunde auch als Hinweis auf ein amodales konzeptuelles System interpretiert (Castle et al., 2000; Nigam et al., 1992; Sarfarazi et

al., 1999). Insbesondere bei Darbietung von Bildern wird allerdings auch ein N400-Effekt mit einem frontaleren Maximum als bei verbalen Reizen berichtet (Barrett & Rugg, 1990; Holcomb & McPherson, 1994). Topographische Unterschiede der N400-Effekte zwischen verbalen und nonverbalen Reizen sprechen eher für modalitäts- oder kategorienabhängige semantische Repräsentationen (Sitnikova, West, Kuperberg & Holcomb, 2006). Es bleibt aber festzuhalten, dass ein N400-Effekt mit einer Vielzahl nonverbaler Reize erzeugt werden konnte. Auch muss hinzugefügt werden, dass auftretende Dissoziationen zwischen sensorischen und symbolischen Modalitäten nicht prinzipiell unvereinbar mit einem amodalen Modell sein müssen. So ist es wahrscheinlich, dass das Bild einer Kuh auch die Konzepte „Euter“ oder „Wiese“ direkt aktiviert, je nachdem, wie die Kuh im konkreten Bild dargestellt ist. Bei der Darbietung von Wörtern hingegen können diese Konzepte nur assoziativ aktiviert werden, sind also nicht im gleichen Maße unmittelbar verfügbar (Caramazza et al., 1990; Pylyshyn, 2002), wodurch Unterschiede in Reaktionszeiten, aber auch in den EKPs zustande kommen können.

2.3.2. Evidenz für automatische und kontrollierte Prozesse

Auch hinsichtlich der Automatizität semantischer Verarbeitung ist die Befundlage nicht eindeutig. Für automatische semantische Aktivierung sprechen hierbei vor allem Befunde, die zeigen, dass semantische Bahnung auch dann auftritt, wenn die relevanten Reize maskiert oder unterschwellig dargeboten werden, beziehungsweise bei einer Stimulus-Onset-Ansynchronie (SOA) von erstem und zweitem Reiz, die zu kurz ist, als dass kontrollierte Prozesse wirksam werden können. Dies konnte auf der Verhaltensebene (Marcel, 1983), aber auch über N400-Effekte gezeigt werden

(Deacon, Hewitt, Yang & Nagata, 2000; Rolke, Heil, Streb & Hennighausen, 2001). Semantische Bahnung kann also unwillkürlich erfolgen, und sie erfüllt somit ein wichtiges Kriterium für automatische Prozesse. Für automatische semantische Aktivierung spricht auch der Befund, dass semantische Bahnung (und/oder ein N400-Effekt) auftreten kann, wenn semantische Eigenschaften des Wortes aufgabenirrelevant sind (Heil, Rolke & Pecchinenda, 2004; Perrin & Garcia-Larrea, 2003; Rouibah, Tiberghien & Lupker, 1999). Im Gegensatz hierzu berichteten Chwilla, Brown & Hagoort (1995) allerdings eine Abhängigkeit semantischer Bahnung von der Verarbeitungstiefe (Craik & Lockhart, 1972). Ein N400-Effekt für Wörter trat nur auf, wenn die Aufgabe semantische Verarbeitung induzierte (lexikalische Entscheidung), nicht aber, wenn nur physikalische Reizmerkmale aufgabenrelevant waren. Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei dichotischer Darbietung für nicht beachtete Wörter berichtet (Bentin, Kutas & Hillyard, 1995). Hier scheint semantische Bahnung vorwiegend auf erwartungsbasierten und/oder postlexikalischen Prozessen, also auf kontrollierter Verarbeitung zu basieren, siehe auch Smith, Bentin & Spalek (2001) und Stolz & Besner (1996) für ähnliche Befunde auf der Verhaltensebene. Insgesamt ist aber wahrscheinlich, dass semantische Verarbeitung sowohl von automatischen, als auch von kontrollierten Prozessen bestimmt wird, siehe Neely & Kahan (2001) für eine Übersichtsarbeit. Hierfür sprechen auch Befunde, die zwar eine Reduktion, aber keine vollständige Abwesenheit des N400-Effekts in physikalischen Aufgaben oder bei Nichtbeachtung der relevanten Reize berichten (Hohlfeld & Sommer, 2005; Holcomb, 1988).

Grundsätzlich problematisch für die Untersuchung semantischer Verarbeitungsprozesse ist, dass Reaktionszeiten im Paradigma semantischer Bahnung nicht immer ein robustes Maß für semantische Verarbeitung zu sein scheinen (Besson, Boaz, Fischler & Raney, 1992; Heil et al., 2004; Hutchison & Bosco, 2007). Alle oben genannten Studien wurden darüber hinaus ausschließlich mit verbalem Reizmaterial durchgeführt. Ungeklärt ist bisher, inwieweit auch die semantische Verarbeitung nonverbaler Reize von automatischen und kontrollierten Prozessen bestimmt wird.

2.4. Umweltgeräusche

Ein Großteil der Forschung zur semantischen Verarbeitung nonverbaler Reize beschränkt sich auf den Vergleich von Objektabbildungen mit den entsprechenden Wortbezeichnungen, insbesondere auf Verhaltensebene. Dies spiegelt sich nicht zuletzt auch in der Konzeption der maßgeblichen Theorien wieder (Paivio, 1991). Als auditiv nonverbale Alternative wurden – weit weniger häufig – aber auch Umweltgeräusche untersucht. Im Vergleich von verbaler mit nonverbaler semantischer Verarbeitung bieten diese den Vorteil, dass sie in bezug auf ihre physikalischen Eigenschaften (Frequenzspektrum, zeitlicher Verlauf) gesprochener Sprache relativ ähnlich sind (Dick et al., 2007). Allerdings sind Umweltgeräusche ambivalenter als Wörter, da unterschiedliche Quellen ähnliche Geräusche erzeugen können (Fabiani, Kazmerski, Cykowicz & Friedman, 1996). Die Bedeutung eines Geräuschs wird also - im Gegensatz zur symbolischen Bedeutung von Wörtern - durch die Quelle, die das Geräusch verursacht hat, bestimmt (Ballas, 1993). Neben ähnlichen physikalischen Eigenschaften gibt es eine Reihe Hinweise darauf, dass

Umweltgeräusche auch in ähnlichen Hirnarealen verarbeitet werden wie Wörter (Dick et al., 2007; Price, Thierry & Griffiths, 2005; Thierry, Giraud & Price, 2003; Thierry & Price, 2006). Unterschiedliche Aktivierungsmuster gemessen mit funktioneller Magnetresonanz-Tomographie (fMRT) oder Positronen-Emissions-Tomographie (PET) sind hier oft quantitativer und nicht qualitativer Natur. Allerdings bestehen auch Dissoziationen. So werden in neuropsychologischen Studien sowohl Läsionen berichtet, die selektiv das Verstehen verbaler Reize (z. B. pure Wort-Blindheit) betreffen (Digiovanni, Dalessandro, Baldini, Cantalupi & Bottacchi, 1992); andererseits gibt es auch Patienten, bei denen selektiv das Erkennen nonverbaler Reize beeinträchtigt ist, wie bei auditorischer Agnosie ohne Aphasie (Fujii et al., 1990). Hinsichtlich der Erinnerungsleistung konnten Verarbeitungsunterschiede zwischen Wörtern und Geräuschen auch für Bahnung über einen längeren Zeitraum (Chiu & Schacter, 1995; Stuart & Jones, 1995) und beim seriellen Abruf gezeigt werden (Paivio, Philipchalk & Rowe, 1975).

Neben den Experimenten dieser Doktorarbeit existieren nur zwei Studien, die semantische Bahnung für Umweltgeräusche bei gleichzeitiger Ableitung ereigniskorrelierter Potentiale untersucht haben (Cummings et al., 2006; van Petten & Rheinfelder, 1995); für ein reines Verhaltensexperiment, siehe Ballas (1993, Experiment 4). Van Petten & Rheinfelder (1995) präsentierten Paare aus gesprochenen Wörtern und Geräuschen, Cummings et al. (2006) hingegen verwendeten Bild-Geräuschpaare. In beiden Fällen konnte mit Geräuschen ein N400-Effekt erzeugt werden, nur van Petten & Rheinfelder (1995) beobachteten darüber hinaus auch Bahnung in den Reaktionszeiten.

2.5. Zentrale Fragestellungen

Die semantische Verarbeitung von Umweltgeräuschen ist also - im Vergleich zur semantischen Verarbeitung von Bildern - nur wenig untersucht wurden. Vor diesem Hintergrund sollten im Zuge dieser Arbeit zunächst die Ergebnisse von van Petten & Rheinfelder (1995) unter Verwendung von Paaren visuell dargebotener Wörter und Geräusche repliziert werden. Im zweiten und dritten Experiment wurde durch Manipulation der Verarbeitungstiefe untersucht, inwieweit die semantische Verarbeitung von Geräuschen aufgabenabhängig ist. Das erste Experiment beschäftigte sich demnach eher mit der Frage, inwieweit sich Geräusche und Wörter hinsichtlich ihrer semantischen Verarbeitung voneinander unterscheiden (amodale vs. multimodale semantische Repräsentationen). Im zweiten und dritten Experiment stand im Vordergrund, inwieweit semantische Verarbeitung von Geräuschen von automatischen und/oder kontrollierten Prozessen bestimmt wird.

3. Experimente

Nachfolgend wird jedes Experiment kurz dargestellt. Hierbei sollen vor allem die Unterschiede zwischen den einzelnen Experimenten im Vordergrund stehen, siehe Tabelle 1. Genaue Angaben zum Versuchsaufbau, zur statistischen Auswertung, den Ergebnissen sowie Abbildungen für alle Elektroden finden sich in den Einzelarbeiten im Anhang.

Tabelle 1: Übersicht über die drei Experimente dieser Arbeit

Experiment	Design	Ergebnis
<p>Experiment 1</p> <p>Conceptual priming for environmental sounds and words: an ERP study</p> <p><i>Brain & Cognition, 2006, 62, S. 267-272</i></p>	<p>Geräusch-Wortpaare vs. Wort-Geräuschpaare (Präsentation in zwei Blöcken)</p> <p>Stereodarbietung der Geräusche</p> <p><u>Aufgabe:</u> Passen Wort und Geräusch zusammen?</p>	<p>N400-Effekte für Wörter und Geräusche</p> <p>Früherer Onset für Geräusche als für Wörter</p> <p>Verhaltenseffekt für Wörter und Geräusche</p>
<p>Experiment 2</p> <p>Is conceptual priming for environmental sounds obligatory?</p> <p><i>International Journal of Psychophysiology, 2007, 65, S. 162-166</i></p>	<p>Nur Wort-Geräuschpaare</p> <p>Monodarbietung der Geräusche</p> <p><u>Aufgabe:</u> Auf welchem Ohr erklingt das Geräusch? oder Passen Wort und Geräusch zusammen?</p> <p>Primefarbe bestimmt Aufgabe</p>	<p>N400-Effekte für Geräusche in beiden Aufgaben</p> <p><u>kein</u> Verhaltenseffekt für Geräusche</p>
<p>Experiment 3</p> <p>N400-effects to task-irrelevant environmental sounds: further evidence for obligatory conceptual processing</p> <p><i>submitted</i></p>	<p>Nur Wort-Geräuschpaare</p> <p>Monodarbietung der Geräusche</p> <p><u>Aufgabe:</u> Auf welchem Ohr erklingt das Geräusch? oder Passen Wort und Geräusch zusammen? (Präsentation in zwei Blöcken)</p> <p>Go/Nogo-Durchgänge</p> <p>Primefarbe bestimmt Reaktion</p>	<p>N400-Effekte für Geräusche in beiden Aufgaben und in Go- und NoGo-Durchgängen</p> <p>Verhaltenseffekt für Geräusche nur in Go-Durchgängen der semantischen Aufgabe</p>

In allen Experimenten wurde das Elektroenzephalogramm (EEG) über sechs Elektroden abgeleitet (Fz, Cz, Pz, P3, P4 und Oz). Die N400 wurde als gemittelte Amplitude zwischen 200 und 500 ms nach Einsetzen des Probereizes operationalisiert. Als Maß für Bahnung auf Verhaltensebene wurde die Reaktionszeit ab dem Einsetzen des Probereizes gemessen, sowie der Prozentsatz korrekter Antworten. Wörter und Geräusche wurden für 300 ms präsentiert. Die Stimulus-Onset-Asynchronie (SOA) zwischen erstem und zweitem Reiz betrug immer 1000 ms.

3.1. Semantische Bahnung für Wörter und Geräusche im Vergleich

Im ersten Experiment sollten die Ergebnisse von van Petten & Rheinfelder (1995) repliziert werden, allerdings mit zwei Änderungen im Versuchsaufbau. Zum einen wurden deutlich kürzere Geräusche als bei van Petten & Rheinfelder (1995) verwendet (300 ms vs. 2500 ms). Zum anderen wurden Wörter nicht auditiv, sondern visuell dargeboten. Dies ermöglichte, die Präsentationsdauer von Wörtern und Geräuschen konstant zu halten (in beiden Fällen 300 ms). Die gesprochenen Wörter bei van Petten & Rheinfelder (1995) waren im Vergleich zu den Geräuschen im Mittel um knapp ein Drittel kürzer (629 vs. 2500 ms) und ihre Dauer war nicht konstant (zwischen 325 und 939 ms). In einem Pilotexperiment wurde zunächst sichergestellt, dass Geräusche und ihre Wortbezeichnungen tatsächlich zueinander passen. Im Hauptexperiment wurden nur Geräusche verwendet, die in mindestens 80% der Fälle als zu ihrer Wortbezeichnung passend beurteilt wurden. Wort-Geräusch- und Geräusch-Wortpaare wurden jeweils in einem Block dargeboten. Die Teilnehmer sollten beurteilen, ob Wörter und Geräusche zueinander passen.

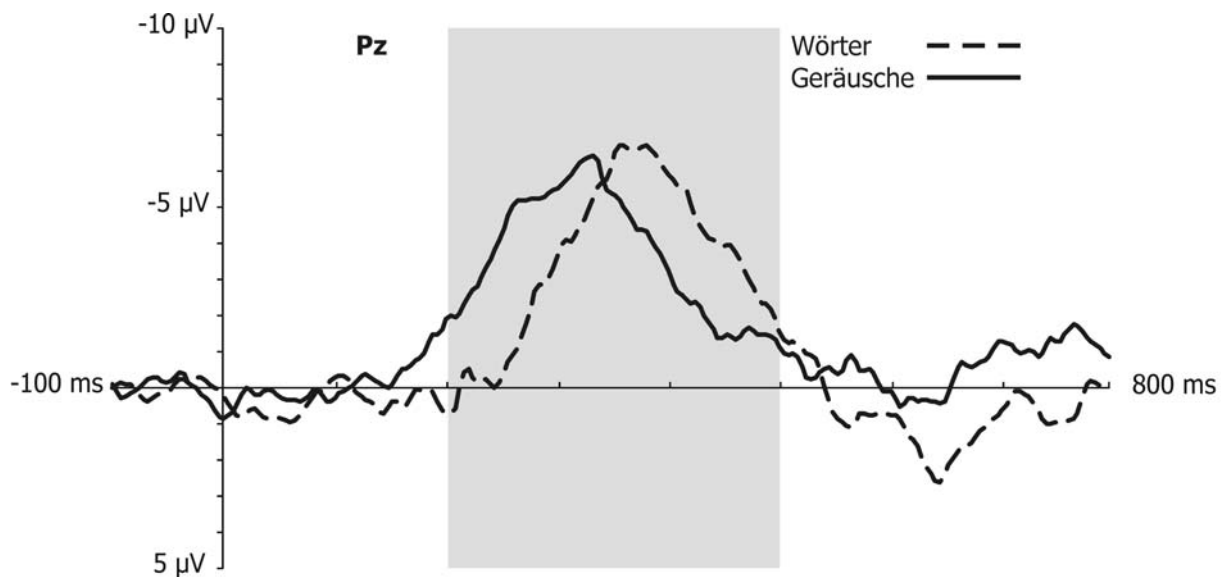


Abbildung 1: EKP-Differenzkurven (nicht assoziiert – assoziiert) über Pz für Wörter und Geräusche im Vergleich.

Sowohl Wörter als auch Geräusche erzeugten einen N400-Effekt, wenn sie auf ein assoziiertes Geräusch/Wort folgten. Hierbei setzte der N400-Effekt für Geräusche früher ein, als der für Wörter, siehe Abbildung 1. Auch auf Verhaltensebene zeigten sich schnellere Reaktionen für assoziierte Geräusche/Wörter, jedoch wurden mehr Fehler bei der Beurteilung assoziierter als bei der Beurteilung nicht assoziierter Reizpaare gemacht, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Verhaltensdaten Experiment 1. Mittelwerte und Fehlerraten in den vier experimentellen Bedingungen, Standardfehler in Klammern

Probereiz	Reaktionszeit [ms]		Fehlerrate [%]	
	Geräusch	Wort	Geräusch	Wort
assoziiert	664 (20,5)	665 (38,5)	5,7 (1,0)	10,7 (1,3)
nicht assoziiert	681 (16,9)	690 (31,7)	2,7 (0,6)	4,0 (1,0)

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von van Petten & Rieffers (1995) lässt sich also auch mit Umweltgeräuschen ein N400-Effekt erzeugen. N400-Effekte für visuell dargebotene Wörter und Umweltgeräusche sind sich topographisch sehr ähnlich. Die Unterschiede im Zeitverlauf lassen sich am ehesten über die größere

Ambivalenz der Bedeutung von Geräuschen erklären (Fabiani et al., 1996). Van Petten & Rheinfelder (1995) berichteten demgegenüber keinen solchen Latenzunterschied, möglicherweise aufgrund der unterschiedlichen Präsentationsdauer von Wörtern und Geräuschen.

3.2. Ist semantische Verarbeitung von Geräuschen obligatorisch?

Im zweiten Experiment wurden nur noch Wort-Geräuschpaare verwendet. Semantische Bahnung für Geräusche wurde in zwei Aufgaben untersucht. Bei der semantischen Aufgabe sollten die Teilnehmer wie im ersten Experiment beurteilen, ob Wort und Geräusch in einem Paar zusammen passen. In der physikalischen Aufgabe beurteilten die Teilnehmer die Präsentationsseite des Geräuschs (linkes oder rechtes Ohr). Die Farbe des Wortes gab für jeden Trial die Aufgabe an. Auf diese Weise wurde auch in der physikalischen Aufgabe die Verarbeitung des Wortes gewährleistet.

In beiden Aufgaben zeigte sich für assoziierte Geräusche ein N400-Effekt mit vergleichbarer Topographie und zeitlichem Verlauf, siehe Abbildung 2. Zwar war der EKP-Verlauf bei semantischer Beurteilung generell positiver als bei physikalischer, N400-Effekte in den beiden Aufgaben zeigten aber weder zeitlich noch räumlich statistisch bedeutsame Unterschiede. Im Gegensatz zum ersten Experiment war allerdings auf Verhaltensebene keine signifikante Bahnung mehr zu beobachten, auch wenn die Reaktionszeiten und Fehlerraten in beiden Aufgaben dasselbe Muster aufwiesen wie in Experiment 1. So wurden wieder mehr Fehler bei der Beurteilung assoziierter als bei der Beurteilung nicht assoziierter Wort-

Geräuschpaare gemacht. Im Vergleich zu Experiment 1 reagierten die Teilnehmer in der semantischen Aufgabe außerdem fast 300 ms langsamer, siehe Tabelle 3.

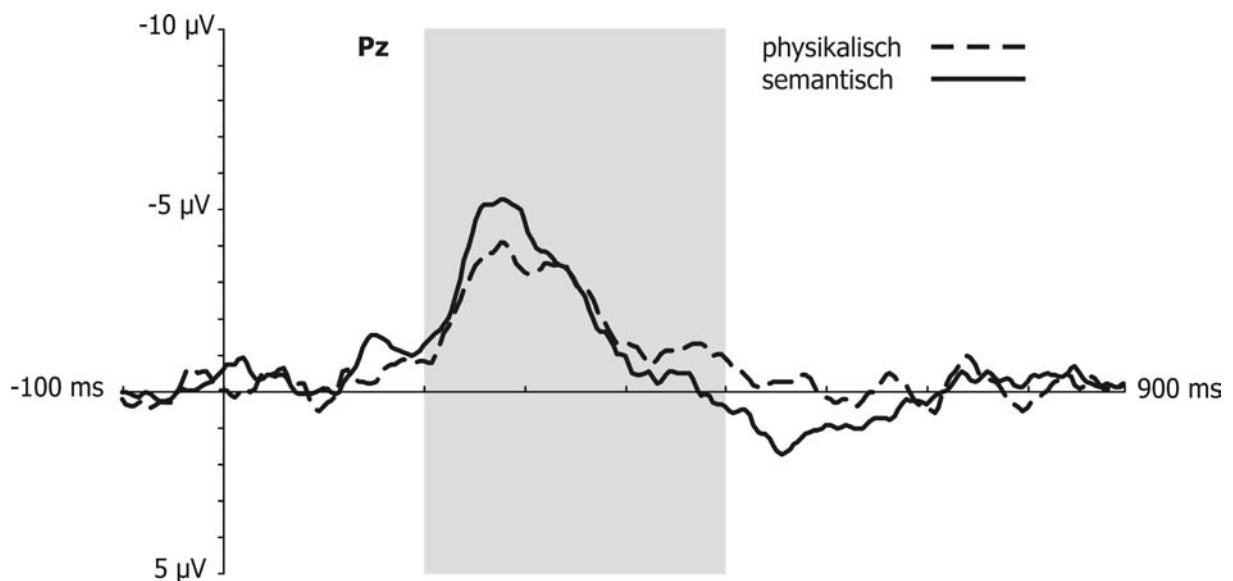


Abbildung 2: EKP-Differenzkurven (nicht assoziiert – assoziiert) über Pz für physikalische und semantische Aufgabe im Vergleich.

Auch im zweiten Experiment konnte also gezeigt werden, dass die semantische Verarbeitung von Geräuschen die N400 moduliert. Zudem konnte der Effekt auch beobachtet werden, wenn semantische Reizeigenschaften aufgabenirrelevant waren. Möglicherweise spielen demnach automatische Prozesse auch bei semantischer Bahnung von Umweltgeräuschen eine Rolle. Man muss allerdings einräumen, dass der randomisierte Aufgabenwechsel von Durchgang zu Durchgang zu Übertragungseffekten geführt haben kann. Möglich ist, dass auch bei Beurteilung der Präsentationsseite semantische Eigenschaften des Geräusches „mitverarbeitet“ wurden, auch wenn die Fehlerraten in der physikalischen Aufgabe nicht von der Assoziiertheit der Reizpaare beeinflusst wurden. In jedem Falle zeigen die Reaktionszeiten in der semantischen Aufgabe aber, dass der Aufgabenwechsel den Verarbeitungsaufwand im Vergleich zu Experiment 1 deutlich erhöhte.

Tabelle 3: Verhaltensdaten Experiment 2. Mittelwerte und Fehlerraten in den vier experimentellen Bedingungen, Standardfehler in Klammern.

Aufgabe	Reaktionszeit [ms]		Fehlerrate [%]	
	physikalisch	semantisch	physikalisch	Semantisch
assoziiert	845 (61,3)	952 (57,9)	4,6 (1,0)	7,0 (1,0)
nicht assoziiert	859 (62,6)	970 (51,2)	5,3 (1,4)	3,9 (0,1)

3.3. Obligatorische N400-Effekte für aufgabenirrelevante Geräusche

Mit dem dritten Experiment sollte ausgeschlossen werden, dass der N400-Effekt in der physikalischen Aufgabe durch die semantische Aufgabe beeinflusst werden kann. Wieder beurteilten die Teilnehmer in der semantischen Aufgabe, ob Wort und Geräusch eines Paares zusammen passten, beziehungsweise in der physikalischen Aufgabe die Präsentationsseite des Geräuschs. Die Aufgaben wurden jedoch getrennt von einander in zwei Blöcken bearbeitet. Im ersten Block des Experiments beurteilten die Teilnehmer das Geräusch immer hinsichtlich der Präsentationsseite, im zweiten Block hinsichtlich seiner Assoziiertheit zum Primewort. Die Blockreihenfolge wurde nicht ausbalanciert, weil sich die explizit semantische Verarbeitung im ersten Block ähnlich wie in Experiment 2 potentiell auf die physikalische Verarbeitung im zweiten Block hätte auswirken können. In beiden Blöcken wurden darüber hinaus randomisiert NoGo-Durchgänge eingefügt, um zu überprüfen, ob N400-Effekte auch auftreten, wenn das Geräusch an sich aufgabenirrelevant ist, also nicht verarbeitet werden muss. In Abhängigkeit der Farbe des Primewortes sollten die Teilnehmer reagieren (Go-Durchgänge) oder nicht reagieren (NoGo-Durchgänge).

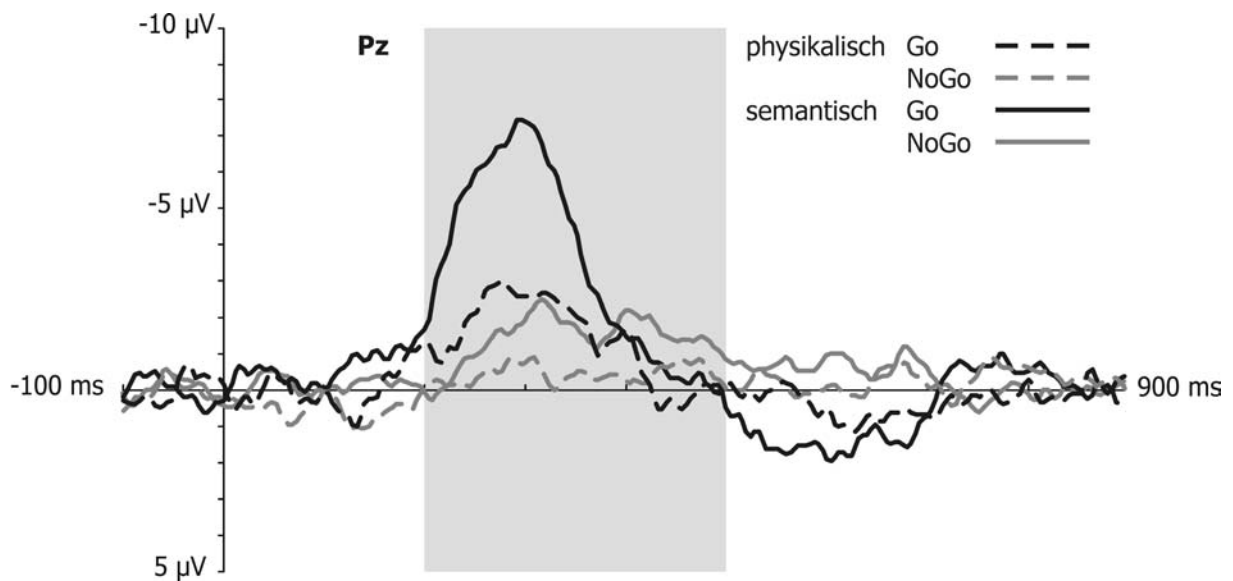


Abbildung 3: EKP-Differenzkurven (nicht assoziiert – assoziiert) über Pz für physikalische und semantische Aufgabe und in Go- und NoGo-Durchgängen im Vergleich.

N400-Effekte für assoziierte im Vergleich zu nicht assoziierten Geräuschen zeigten sich in beiden Aufgaben und sowohl in Go- als auch in NoGo-Durchgängen, siehe Abbildung 3. Ein Bahnungseffekt auf Verhaltensebene war allerdings nur in der semantischen Aufgabe zu beobachten, siehe Tabelle 4. Im Gegensatz zu Experiment 2 war der N400-Effekt in der semantischen Aufgabe allerdings signifikant größer als in der physikalischen Aufgabe und in Go- größer als in NoGo-Durchgängen.

Tabelle 4: Verhaltensdaten Experiment 3. Mittelwerte und Fehlerraten in Go-Durchgängen, Standardfehler in Klammern.

Aufgabe	Reaktionszeit [ms]		Fehlerrate [%]	
	physikalisch	semantisch	physikalisch	Semantisch
assoziert	504 (45,4)	600 (48,2)	5,2 (2,1)	7,0 (1,5)
nicht assoziiert	512 (44,9)	638 (47,8)	4,6 (1,9)	2,8 (0,7)

Die Ergebnisse von Experiment 3 legen nahe, dass Übertragungseffekte den N400-Effekt bei der physikalischen Aufgabe in Experiment 2 zumindest mit beeinflusst haben und vor allem zur großen Ähnlichkeit der Effekte in semantischer und physikalischer Aufgabe beigetragen haben. Gleichwohl zeigen die Ergebnisse von

Experiment 3, dass der N400-Effekt bei der Beurteilung der Präsentationsseite nicht ausschließlich auf Übertragungseffekte zurückgeführt werden kann, da er sowohl in Go- als auch in NoGo-Durchgängen beobachtet werden konnte. Tatsächlich scheint die Größe des N400-Effekts gleichsam gestaffelt abzunehmen, mit dem deutlichsten Unterschied zwischen assoziierten und nicht assoziierten Geräuschen in Go-Durchgängen bei explizit semantischer Verarbeitung und der kleinsten Differenz in NoGo-Durchgängen bei rein physikalischer Verarbeitung. Dabei ist der N400-Effekt aber in allen vier Bedingungen signifikant. Insofern scheinen automatische *und* kontrollierte Prozesse zur Entstehung semantischer Bahnung bei Geräuschen beizutragen, ähnlich wie bei der semantischen Bahnung von Wörtern. Diese Annahme wird auch dadurch unterstützt, dass semantische Bahnung in den Reaktionszeiten nur in Go-Durchgängen der semantischen Aufgabe vorhanden war, der Bedingung, in der kontrollierte Prozesse maximal wirksam werden konnten.

4. Allgemeine Diskussion

In allen drei Experimenten konnte gezeigt werden, dass Umweltgeräusche semantisch gebahnt werden können und zwar sowohl auf Verhaltens-, als auch auf elektrophysiologischer Ebene. Nachfolgend soll zunächst erläutert werden, inwieweit die Befunde dieser Arbeit zur Unterscheidung amodaler und multimodaler semantischer Repräsentationssysteme beitragen können. Zweitens soll auf die zugrunde liegenden Prozesse der semantischen Bahnung von Geräuschen eingegangen werden. Abschließend werden die zentralen Thesen dieser Arbeit formuliert und ein Ausblick für anschließende experimentelle Fragestellungen gegeben.

4.1. Wortbedeutung = Geräuschbedeutung?

Im direkten Vergleich wurde die Bedeutungsverarbeitung von Geräuschen und Wörtern nur im ersten Experiment untersucht. Hinsichtlich der Frage, ob Wörter und Geräusche semantisch ähnlich verarbeitet werden, weisen die Ergebnisse im Verhalten und in Bezug auf N400-Effekte in unterschiedliche Richtungen. Obwohl in beiden Fällen Bahnung in den Reaktionszeiten beobachtet werden konnte, zeigen die Fehlerraten deutlich die mit der Erkennung von Umweltgeräuschen einhergehende Ambivalenz (Fabiani et al., 1996). Demgegenüber sprechen die ähnlichen N400-Effekte für Wörter und Geräusche eher für einen gemeinsam zugrunde liegenden Prozess der Verarbeitung von Bedeutung, möglicherweise im Sinne amodaler Repräsentationen (Castle et al., 2000; Nigam et al., 1992; Sarfarazi et al., 1999). Hierbei ist es aufgrund der Kürze der Reizdarbietung unwahrscheinlich, dass Geräusche (zumindest bei der Darbietung im Probe) zunächst sprachlich „umkodiert“ wurden,

bevor die Bedeutungsverarbeitung einsetzte. In topographischer Hinsicht zeigen die Befunde aus Experiment 1 keine Unterschiede zwischen dem N400-Effekt für Wörter und dem N400-Effekt für Geräusche, wie sie z. B. für den Vergleich von Bildern mit Wörtern berichtet wurden (Barrett & Rugg, 1990; Holcomb & McPherson, 1994). Aussagen über die Topographie des N400-Effekts in den drei Experimenten dieser Arbeit sind allerdings aufgrund der geringen Anzahl an Elektroden nur sehr begrenzt möglich, die genaue Lokalisation des N400-Effekts für Geräusche war indes auch nicht primäres Ziel dieser Arbeit. Jedoch legen fMRT-Befunde, die eine große Überschneidung hinsichtlich der aktivierten Hirnareale berichten, eine vergleichbare Lokalisation der semantischen Verarbeitung von Wörtern und Geräuschen nahe (Dick et al., 2007; Price et al., 2005; Thierry et al., 2003; Thierry & Price, 2006).

4.2. Automatische/kontrollierte Verarbeitung von Geräuschbedeutung

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl automatische, als auch kontrollierte Prozesse das Ausmaß der semantischen Verarbeitung von Geräuschen beeinflussen. Im Einklang mit Studien, die in der verbalen Domäne eine Aufgabenabhängigkeit der N400 berichten, ist auch der nonverbale N400-Effekt abhängig von der Verarbeitungstiefe, d. h. verringert, wenn nur physikalische Reizmerkmale aufgabenrelevant sind (West & Holcomb, 2000). Dennoch verschwindet der Effekt auch in einer physikalischen Aufgabe nicht völlig; er bleibt sogar bestehen, wenn das Geräusch insgesamt aufgabenirrelevant ist, wie es in NoGo-Durchgängen der Fall ist. N400-Effekte bei „oberflächlicher“ Verarbeitung des Probereizes ohne gleichzeitige semantische Bahnung in den Reaktionszeiten wurden auch für Wörter berichtet (Besson et al., 1992; Heil et al., 2004). Auch aus dieser Perspektive bestehen somit Hinweise auf

ähnliche zugrunde liegende Prozesse bei der semantischen Verarbeitung von verbalen und nonverbalen Reizen. Folgende zentrale Thesen lassen sich also aus den Ergebnissen dieser Arbeit ableiten.

4.3. Zentrale Thesen

1. *Die Bedeutung von Geräuschen und Wörtern wird ähnlich verarbeitet.* Neben einer Reihe anderer nonverbaler Reize lässt sich auch mit Geräuschen ein N400-Effekt erzeugen. Dies kann heissen, dass die Bedeutung von Geräuschen und Wörtern amodal repräsentiert ist, möglicherweise spiegelt die N400 aber auch einen semantischen Integrationsprozess wieder, der nicht unbedingt mit amodalen Repräsentationen gleichgesetzt werden muss. Eine solche Interpretation setzt allerdings eine Art semantisches „Arbeitsgedächtnis“ voraus, in dem semantische Information, die modalitätsspezifisch repräsentiert ist, übersetzt und manipuliert wird (Fogelson et al., 2004; Martin & Chao, 2001). Dies bedeutet aber, dass eine strikte Trennung zwischen verbalen und nonverbalen Repräsentationssystemen, wie sie für bildliche und sprachliche Repräsentationen postuliert wurde (Paivio, 1991; Paivio et al., 1975), nur durch gleichzeitige Annahme amodaler Repräsentationen oder Prozesse gerechtfertigt werden kann (Caramazza et al., 1990; Engelkamp & Zimmer, 2006; Glucksberg, 1984; Pylyshyn, 2002). Vor diesem Hintergrund legen die Befunde aus Experiment 1 eher eine Interpretation im Sinne amodaler oder hierarchischer Ansätze zur Repräsentation von semantischem Wissen nahe.

2. *Sowohl automatische als auch kontrollierte Prozesse vermitteln die Bedeutung von Geräuschen.* Der obligatorische, aber begrenzt aufgabenabhängige N400-Effekt in den Experimenten 2 und 3 ist weder mit ausschließlich automatischen, noch rein kontrollierten Prozessen erklärbar. Wie in der verbalen Domäne auch, wird die Größe des Effekts wahrscheinlich durch sich ausbreitende semantische Aktivierung einerseits und durch erwartungsbasierte Prozesse andererseits bestimmt (Neely, 1991; Neely & Kahan, 2001). Hierbei spricht vor allem der N400-Effekt in der physikalischen Aufgabe in Experiment 3 für die Beteiligung automatischer Prozesse. Die große Ähnlichkeit der N400-Effekte in den beiden Aufgaben von Experiment 2 scheint demgegenüber auch auf strategische Prozesse zurückzugehen. Der zufällige Wechsel zwischen den beiden Aufgaben verleitete die Teilnehmer möglicherweise dazu, Bedeutung auch in der physikalischen Aufgabe mitzuverarbeiten. Dies betont die Auswirkung strategischer, also kontrollierter Prozesse auf den N400-Effekt.
3. *Die N400 reflektiert einen amodalen und (zumindest in Anteilen) automatischen Prozess semantischer Integration über sensorische und symbolische Modalitäten hinweg.* Auf der Basis dieser Arbeit gilt dies zumindest für den Vergleich von Wörtern und Geräuschen. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit Befunden, die N400-Effekte mit einer Reihe anderer nonverbaler Reize nachweisen konnten (siehe oben). Auch die These, dass die N400 ausschließlich kontrollierte Prozesse widerspiegelt (Chwilla et al., 1995), wird durch die Befunde dieser Arbeit (insbesondere Experiment 3) nicht unterstützt.
4. *Reaktionszeitlatenzen sind kein robustes Maß für (automatische) semantische Verarbeitung.* Dies zeigt sich in der Dissoziation zwischen

elektrophysiologischen und Verhaltensmaßen in den Experimenten 2 und 3 (sowie in der Literatur s.o.). Gleichzeitig legt auch der große Reaktionszeitunterschied zwischen semantischer Aufgabe in Experiment 1 und der identischen Aufgabe in Experiment 2 diesen Schluss nahe. Die Reaktionszeiten werden durch den Aufgabenwechsel in Experiment 2 augenscheinlich stärker beeinflusst als durch semantische Bahnung, die gleichzeitig in den EKPs deutlich zu erkennen ist. Insofern scheinen elektrophysiologische Maße (wie der N400-Effekt) die robusteren Indikatoren semantischer Verarbeitung zu sein.

5. Ausblick

Auf der Basis dieser Arbeit lassen sich eine Reihe von Fragen formulieren, wie die semantische Verarbeitung von Umweltgeräuschen weiterführend untersucht werden kann. Einige davon sollen abschließend kurz umrissen werden.

5.1. Multimodale Bedeutungsverarbeitung

Nur das erste Experiment hat sich mit dem direkten Vergleich von verbalem und nonverbalem Reizmaterial befasst. Hierbei waren symbolische und sensorische Modalität konfundiert, auch um Wörter und Geräusche gleich lang dar bieten zu können. Um genauere Aussagen über das Verhältnis von amodaler und multimodaler Bedeutungsverarbeitung von Geräuschen treffen zu können, sollten allerdings symbolische und sensorische Modalität getrennt von einander manipuliert werden. So stellt sich z. B. die Frage, inwieweit semantische Bahnung auch von Geräusch zu Geräusch möglich ist, beziehungsweise inwieweit sich mögliche N400-Effekte von den in dieser Arbeit berichteten unterscheiden. Auch Vergleiche mit musikalischen Reizen oder andere kreuzmodale Versuchsaufbauten sind hier von Interesse. Zudem postulieren einige Autoren auch eine kategorieabhängige Organisation semantischen Wissens (Caramazza, 2000). Auch hier bieten sich Umweltgeräusche als auditive Alternative zu visuellen Reizen an (Sitnikova et al., 2006).

5.2. Automatische Bedeutungsverarbeitung

In den Experimenten 2 und 3 dieser Arbeit wurden signifikante N400-Effekte in einer physikalischen Aufgabe als Hinweis auf automatische Prozesse interpretiert. Neben

der Manipulation der Verarbeitungstiefe böte aber auch die Maskierung von Geräuschen oder deren akustische Verzerrung eine Möglichkeit, semantische Verarbeitung von bewusst nicht identifizierbaren Geräuschen zu untersuchen. N400-Effekte unter diesen experimentellen Bedingungen würden neben den hier berichteten Effekten in einer physikalischen Aufgabe, ebenfalls für automatische semantische Verarbeitung von Umweltgeräuschen sprechen. Bei Darbietung eines Geräusches als erstem Reiz ließen sich auch über Manipulation des SOA genauere Erkenntnisse über den Zeitverlauf semantischer Bahnung mit nonverbal auditiven Reizen gewinnen.

6. Literatur

- Ballas, J. A. (1993). Common Factors in the Identification of an Assortment of Brief Everyday Sounds. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 19, 250-267.
- Barrett, S. E. & Rugg, M. D. (1990). Event-Related Potentials and the Semantic Matching of Pictures. *Brain and Cognition*, 14, 201-212.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 577-660.
- Bentin, S., Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1995). Semantic Processing and Memory for Attended and Unattended Words in Dichotic-Listening - Behavioral and Electrophysiological Evidence. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 21, 54-67.
- Bentin, S., McCarthy, G. & Wood, C. C. (1985). Event-Related Potentials, Lexical Decision and Semantic Priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 343-355.
- Besson, M., Boaz, T., Fischler, I. & Raney, G. (1992). Effects of Automatic Associative Activation on Explicit and Implicit Memory Tests. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 18, 89-105.
- Caramazza, A. (2000). The organization of conceptual knowledge in the brain. In M. S. Gazzaniga (Hsg.), *The new cognitive neurosciences* (S. 1037-1046). Cambridge, MA: MIT Press.
- Caramazza, A., Hillis, A. E., Rapp, B. C. & Romani, C. (1990). The Multiple Semantics Hypothesis - Multiple Confusions. *Cognitive Neuropsychology*, 7, 161-189.

- Castle, P. C., Van Toller, S. & Milligan, G. J. (2000). The effect of odour priming on cortical EEG and visual ERP responses. *International Journal of Psychophysiology*, 36, 123-131.
- Chiu, C. Y. P. & Schacter, D. L. (1995). Auditory priming for nonverbal information: Implicit and explicit memory for environmental sounds. *Consciousness and Cognition*, 4, 440-458.
- Chwilla, D. J., Brown, C. M. & Hagoort, P. (1995). The N400 as a Function of the Level of Processing. *Psychophysiology*, 32, 274-285.
- Craik, F. I. M. & Lockhart, R. S. (1972). Levels of Processing - Framework for Memory Research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Cummings, A., Ceponiene, R., Koyama, A., Saygin, A. P., Townsend, J. & Dick, F. (2006). Auditory semantic networks for words and natural sounds. *Brain Research*, 1115, 92-107.
- Deacon, D., Hewitt, S., Yang, C. M. & Nagata, M. (2000). Event-related potential indices of semantic priming using masked and unmasked words: evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process. *Cognitive Brain Research*, 9, 137-146.
- Dick, F., Saygin, A. P., Galati, G., Pitzalis, S., Bentrovato, S., D'Amico, S., et al. (2007). What is involved and what is necessary for complex linguistic and nonlinguistic auditory processing: Evidence from functional magnetic resonance imaging and lesion data. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 799-816.

- Digiovanni, M., Dalessandro, G., Baldini, S., Cantalupi, D. & Bottacchi, E. (1992). Clinical and Neuroradiological Findings in a Case of Pure Word Deafness. *Italian Journal of Neurological Sciences*, 13, 507-510.
- Engelkamp, J. & Denis, M. (1990). Are Mental Representations Multimodal. *Schweizerische Zeitschrift Fur Psychologie-Revue Suisse De Psychologie*, 49, 222-233.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (2006). Lehrbuch der kognitiven Psychologie. (S. 170-209). Göttingen: Hogrefe.
- Fabiani, M., Kazmerski, V. A., Cykowicz, Y. M. & Friedman, D. (1996). Naming norms for brief environmental sounds: Effects of age and dementia. *Psychophysiology*, 33, 462-475.
- Federmeier, K. D. & Kutas, M. (2001). Meaning and modality: Influences of context, semantic memory organization, and perceptual predictability on picture processing. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 27, 202-224.
- Fogelson, N., Loukas, C., Brown, J. & Brown, P. (2004). A common N400 EEG component reflecting contextual integration irrespective of symbolic form. *Clinical Neurophysiology*, 115, 1349-1358.
- Fujii, T., Fukatsu, R., Watabe, S. I., Ohnuma, A., Teramura, K., Kimura, I., et al. (1990). Auditory Sound Agnosia without Aphasia Following a Right Temporal-Lobe Lesion. *Cortex*, 26, 263-268.
- Glucksberg, S. (1984). The Functional Equivalence of Common and Multiple Codes - Commentary. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 100-104.

- Heil, M., Rolke, B. & Pecchinenda, A. (2004). Automatic semantic activation is no myth - Semantic context effects on the N400 in the letter-search task in the absence of response time effects. *Psychological Science, 15*, 852-857.
- Hohlfeld, A. & Sommer, W. (2005). Semantic processing of unattended meaning is modulated by additional task load: Evidence from electrophysiology. *Cognitive Brain Research, 24*, 500-512.
- Holcomb, P. J. (1988). Automatic and Attentional Processing - an Event-Related Brain Potential Analysis of Semantic Priming. *Brain and Language, 35*, 66-85.
- Holcomb, P. J. & McPherson, W. B. (1994). Event-Related Brain Potentials Reflect Semantic Priming in an Object Decision Task. *Brain and Cognition, 24*, 259-276.
- Hutchison, K. A. & Bosco, F. A. (2007). Congruency effects in the letter search task: Semantic activation in the absence of priming. *Memory & Cognition, 35*, 514-525.
- Jost, K., Hennighausen, E. & Rosler, F. (2004). Comparing arithmetic and semantic fact retrieval: effects of problem size and sentence constraint on event-related brain potentials. *Psychophysiology, 41*, 46-59.
- Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T. & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience, 7*, 302-307.
- Kutas, M. & Van Petten, C. (1994). Psycholinguistics electrified. In M. A. Gernsbacher, *Handbook of Psycholinguistics* (S. 83-143). San Diego: Academic Press.
- Marcel, A. J. (1983). Conscious and Unconscious Perception - Experiments on Visual Masking and Word Recognition. *Cognitive Psychology, 15*, 197-237.

- Martin, A. & Chao, L. L. (2001). Semantic memory and the brain: structure and processes. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 194-201.
- McNamara, T. P. (2005). *Semantic Priming: perspectives from memory and word recognition*. New York and Hove: Psychology Press.
- McPherson, W. B. & Holcomb, P. J. (1999). An electrophysiological investigation of semantic priming with pictures of real objects. *Psychophysiology*, 36, 53-65.
- Neely, J. (1991). Semantic priming effects in visual word recognition: a selective review of current findings and theories. In D. Besner & G. W. Humphreys, *Basic processes in reading. Visual word recognition* (S. 264-337). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Neely, J. H. & Kahan, T. A. (2001). Is semantic activation automatic? A critical re-evaluation. In I. Neath, *The nature of remembering: Essays in honor of Robert G. Crowder* (S. 69-93). Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Nigam, A., Hoffman, J. E. & Simons, R. F. (1992). N400 to Semantically Anomalous Pictures and Words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 15-22.
- Paivio, A. (1991). Dual Coding Theory - Retrospect and Current Status. *Canadian Journal of Psychology-Revue Canadienne De Psychologie*, 45, 255-287.
- Paivio, A., Philipchalk, R. & Rowe, E. J. (1975). Free and Serial Recall of Pictures, Sounds, and Words. *Memory & Cognition*, 3, 586-590.
- Perrin, F. & Garcia-Larrea, L. (2003). Modulation of the N400 potential during auditory phonological/semantic interaction. *Cognitive Brain Research*, 17, 36-47.
- Price, C., Thierry, G. & Griffiths, T. (2005). Speech-specific auditory processing: where is it? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(6), 271-276.

- Pylyshyn, Z. W. (1973). What Minds Eye Tells Minds Brain - Critique of Mental Imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- Pylyshyn, Z. W. (2002). Mental imagery: In search of a theory. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 157-238.
- Rolke, B., Heil, M., Streb, J. & Hennighausen, E. (2001). Missed prime words within the attentional blink evoke an N400 semantic priming effect. *Psychophysiology*, 38, 165-174.
- Rouibah, A., Tiberghien, G. & Lupker, S. J. (1999). Phonological and semantic priming: Evidence for task-independent effects. *Memory & Cognition*, 27, 422-437.
- Sarfarazi, M., Cave, B., Richardson, A., Behan, J. & Sedgwick, E. M. (1999). Visual event related potentials modulated by contextually relevant and irrelevant olfactory primes. *Chemical Senses*, 24, 145-154.
- Sitnikova, T., West, W. C., Kuperberg, G. R. & Holcomb, P. J. (2006). The neural organization of semantic memory: Electrophysiological activity suggests feature-based segregation. *Biological Psychology*, 71, 326-340.
- Smith, M. C., Bentin, S. & Spalek, T. M. (2001). Attention constraints of semantic activation during visual word recognition. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 27, 1289-1298.
- Snodgrass, J. G. (1984). Concepts and Their Surface Representations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 3-22.
- Stolz, J. A. & Besner, D. (1996). Role of set in visual word recognition: Activation and activation blocking as nonautomatic processes. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 22, 1166-1177.

- Stuart, G. P. & Jones, D. M. (1995). Priming the Identification of Environmental Sounds. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section a-Human Experimental Psychology*, 48, 741-761.
- Thierry, G., Giraud, A. L. & Price, C. (2003). Hemispheric dissociation in access to the human semantic system. *Neuron*, 38, 499-506.
- Thierry, G. & Price, C. J. (2006). Dissociating verbal and nonverbal conceptual processing in the human brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 1018-1028.
- Thompson-Schill, S. L. (2003). Neuroimaging studies of semantic memory: inferring "how" from "where". *Neuropsychologia*, 41, 280-292.
- Van Petten, C. & Rheinfelder, H. (1995). Conceptual relationships between spoken words and environmental sounds: event-related brain potential measures. *Neuropsychologia*, 33, 485-508.
- West, W. C. & Holcomb, P. J. (2000). Imaginal, semantic, and surface-level processing of concrete and abstract words: An electrophysiological investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1024-1037.

7. Einzelarbeiten

7.1. Experiment 1

Orgs G., Lange K., Dombrowski J-H., Heil, M. (2006). Conceptual priming for environmental sounds and words: an ERP study, *Brain & Cognition*, 62, 267-272.

Brief communication

Conceptual priming for environmental sounds and words: An ERP study [☆]

Guido Orgs ^{*}, Kathrin Lange, Jan-Henryk Dombrowski, Martin Heil

Institute of Experimental Psychology, Heinrich-Heine University Düsseldorf, Germany

Accepted 9 May 2006

Available online 21 June 2006

Abstract

In this study we examined conceptual priming using environmental sounds and visually displayed words. Priming for sounds and words was observed in response latency as well as in event-related potentials. Reactions were faster when a related word followed an environmental sound and vice versa. Moreover both stimulus types produced an N400-effect for unrelated compared to related trials. The N400-effect had an earlier onset for environmental sounds than for words. The results support the theoretical notion that conceptual processing may be similar for verbal and non-verbal stimuli.

© 2006 Elsevier Inc. All rights reserved.

Keywords: Semantic priming; N400; Environmental sounds; ERP; Conceptual processing

1. Introduction

A means of examining how meaning is processed is the priming effect: A response to a word that is preceded by a semantically or conceptually related word occurs faster than when it is preceded by a word that is not related (McNamara, 2005; Neely, 1991). In order to assess whether or not semantic processing differs between linguistic and non-linguistic information, priming has been examined using non-linguistic but meaningful stimulus material. Semantic priming with non-verbal stimuli has mostly been demonstrated using pictures either in a *within-form* (pictures priming pictures) or a *cross-form* (words priming pictures and vice versa) design, for an example see Bajo (1988). More recently cross-form conceptual priming has been examined using environmental sounds. According to Ballas (1993) environmental sounds are produced by a real event and have a meaning by virtue of their causal relation to that event. In one study (Ballas, 1993,

Experiment 4) participants were presented with labels suggesting causes for a sound that they were about to hear. A sound was presented either following a label that was likely to have caused the sound or following a label that was less likely to have caused the sound. Participants were asked to decide if a sound could have resulted from the event described by the label. Responses to word–sound pairs of high causal probability were faster than responses to word–sound pairs of low causal probability. Two other studies however failed to observe cross-form priming effects for environmental sounds in identification tasks (Chiu & Schacter, 1995; Stuart & Jones, 1995). Identification of an environmental sound was improved when the same sound had been presented earlier but not when a related word had preceded the sound.

Semantic priming has also been examined using electrophysiological measures. Typically a semantic context is established by reading a sentence or a single word. Subsequently another related or unrelated word is presented to which event-related potentials (ERPs) are recorded (Kutas & Van Petten, 1994). In ERPs semantic priming using word stimuli correlates with the modulation of a negative deflection peaking around 400ms post-stimulus, the N400 (Bentin, McCarthy, & Wood, 1985; Kutas & Van Petten, 1994). Unrelated stimuli

[☆] The authors thank Jennifer Paszek for her help collecting the ERP data. This study was supported by the German Research Foundation (DFG) grant He 1856.

^{*} Corresponding author. Fax: +49 211 81 13490.

E-mail address: orgs@uni-duesseldorf.de (G. Orgs).

produce a greater negativity than do related stimuli. Thus the N400-effect reflects stimulus processing in relation to a previously established semantic or conceptual context.

In priming studies using non-verbal stimuli, N400-effects have been evoked with line drawings (McPherson & Holcomb, 1999), series of numbers (Fogelson, Loukas, Brown, & Brown, 2004) and arithmetic equations (Jost, Hennig-Hausen, & Rosler, 2004). Cross-form semantic priming has been demonstrated from pictures to words and vice versa (Ganis, Kutas, & Sereno, 1996; Nigam, Hoffman, & Simons, 1992). Likewise odors (Castle, Van Toller, & Milligan, 2000; Sarfarazi, Cave, Richardson, Behan, & Sedgwick, 1999) and musical stimuli (Koelsch et al., 2004) produce N400-effects, when the ERPs to subsequently presented pictures (Castle et al., 2000; Sarfarazi et al., 1999) or words (Koelsch et al., 2004) are recorded.

However only one ERP study (Van Petten & Rheinfelder, 1995) employed environmental sound stimuli in a conceptual priming paradigm using pairs of a sound and a spoken word. Faster responses and an N400-effect were observed for related compared to unrelated stimulus pairs, regardless of whether a sound followed a word or a word followed a sound. However words showed a right greater than left asymmetry whereas environmental sounds produced a slight though not significant asymmetry towards the left hemisphere. The purpose of the present study was to replicate an N400-effect for environmental sounds using pairs of visually presented words and environmental sounds. Furthermore we sought to evoke an N400-effect on the basis of a fairly short stimulus duration of 300 ms for all stimuli. In their study Van Petten and Rheinfelder (1995) used stimuli with a duration of 2500 ms.

2. Methods

2.1. Subjects

Seventeen volunteers (11 women) participated in the study after signing informed consent. Participants were 19 to 44 years old (mean age: 26). All participants were native German speakers and reported normal hearing sensitivity. Two of the participants were left-handed. Participants received a monetary compensation or fulfilled course requirements.

2.2. Stimuli and procedure

Sixty-eight environmental sounds from various web pages (www.findsounds.com, www.tonarchiv.de, www.hoerspielbox.de) and commercially available sound CDs (www.bestservice.de) were obtained. The sounds were all standardized for sound quality (44.100 kHz, 16 bit, stereo) and duration (300 ms). In order to find out whether these sounds were consistently labeled, a pilot experiment with 19 participants (age 19–39, mean: 23) was conducted. Participants were asked to match an environmental sound to a visually displayed label (e.g., a barking

sound and the word “dog”). Only sounds with a matching rate of at least 80% were used in the main experiment. Twelve stimuli with a matching rate between 60 and 80% were used in practice trials in the main experiment. Out of the 51 remaining stimuli three categories were formed, each one comprising 17 stimuli: animal sounds (e.g., dog barking, bird singing), instruments (e.g., violin, saxophone) and everyday sounds (e.g., bell ringing, coughing). Afterwards stimulus pairs were constructed. Either the first stimulus of the pair (prime) was a word and the second stimulus (probe) was a sound (word/sound condition) or the prime stimulus was a sound and the probe stimulus was a word (sound/word condition). Thus in the word/sound condition the probe was presented auditorily, whereas in the sound/word condition the probe was presented visually. For one group of participants the first stimulus block contained only sound/word trials, the second block only word/sound trials. For the second group the order of blocks was reversed. Half of all the stimulus pairs consisted of a sound and its assigned label (related condition). The second half of the stimulus pairs consisted of a sound paired with a label from one of the other two categories (unrelated condition). Assignment of an unrelated word to a sound was random within each stimulus block and for each participant, provided that every category occurred equally often. To minimize repetition effects, the order of related and unrelated trials was randomized within each block and for each participant.

A trial started with the prime stimulus, following a central fixation cross on a PC screen (90 cm distance). The probe stimulus was presented 1000 ms after the onset of the prime stimulus. Prime and probe stimuli (words and environmental sounds) were presented for 300 ms either visually on the screen ($3.6^\circ \times 0.6^\circ$ visual angle on average) or auditorily via headphones. The Participants had 1500 ms to make a response. A new trial could be initiated by another button press only when a random inter trial interval between 500 and 1000 ms had passed. Participants were instructed that either a word or a sound would be presented followed by another sound or word. Participants should indicate by a button press (left or right index finger) whether word and sound fitted together. Participants were instructed not to move or blink during a trial. The assignment of buttons to the required response was counterbalanced across participants. Prior to each stimulus block in the experimental session, participants completed 24 (12 related and 12 unrelated pairs) practice trials.

2.3. EEG recording and data analysis

Participants were seated in an electrically shielded, dimly lit room. The electroencephalogram (EEG) was recorded from six Ag/AgCl electrodes placed at Fz, Cz, Pz, Oz, P3 and P4, based on the international 10–20 system. All electrodes were attached directly to the scalp and were referenced to digitally averaged earlobes. Impedance

was kept below 5 k Ω . To control for eye movement artifacts vertical and horizontal electrooculogram (EOG) was recorded. A ground electrode was placed at the forehead above the nasion. The EEG was digitized at 250 Hz and an online band pass was set from DC to 100 Hz. An offline filter was set from 0.5 to 40 Hz. Trials with eye or body movement artifacts were discarded according to the following criteria: the maximal allowed voltage step between two sampling points was 50 μ V and the minimal or maximal absolute amplitude should not exceed -100 or $+100$ μ V.

Event-related potentials to auditory and visual probe stimuli were extracted by averaging separately for related and unrelated conditions. Only trials on which a correct response had occurred were included into ERP as well as behavioral analyses. Epochs started 100 ms before presentation of the probe stimulus and had a length of 900 ms. Component amplitudes for the N400 were quantified as the mean voltage in the three time-slots 200–300,

300–400 and 400–500 ms after presentation of the probe stimulus. A repeated measures analysis of variance (ANOVA) was conducted with the factors electrode position (six levels), time-slot (three levels), modality of the probe stimulus (two levels) and relatedness (two levels). ANOVA results were corrected for sphericity using the Greenhouse–Geisser epsilon where appropriate (uncorrected df are reported with the ϵ and corrected p -values). Mean reaction times and error rates were analyzed using repeated measures ANOVA with modality of the probe stimulus (two levels) and relatedness (two levels) as within-subject factors.

3. Results

3.1. Behavioral data

Participants reacted faster to related than to unrelated probe stimuli (Table 1), as revealed in a main effect of relatedness: $F(1, 16) = 8.57$, ($p < .01$). The effect did not depend on whether sounds or words were presented (probe modality * relatedness: $F(1, 16) = 0.23$, $p = \text{n.s.}$).

However participants made fewer errors if a word was followed by a sound than if a sound was followed by a word (main effect of probe modality: $F(1, 16) = 9.99$, $p < .01$) and if prime and probe stimuli were unrelated (main effect of relatedness: $F(1, 16) = 25.45$, $p < .001$). Higher error rates in related compared to unrelated conditions were possibly

Table 1

Behavioral results

Probe stimulus	Reaction times (in ms)		Error rates (in %)	
	Sound	Word	Sound	Word
Related	664 (20.5)	665 (38.5)	5.7 (1.0)	10.7 (1.3)
Unrelated	681 (16.9)	690 (31.7)	2.7 (0.6)	4.0 (1.0)

Mean reaction times and error rates in the four experimental conditions, standard errors are written in parentheses.

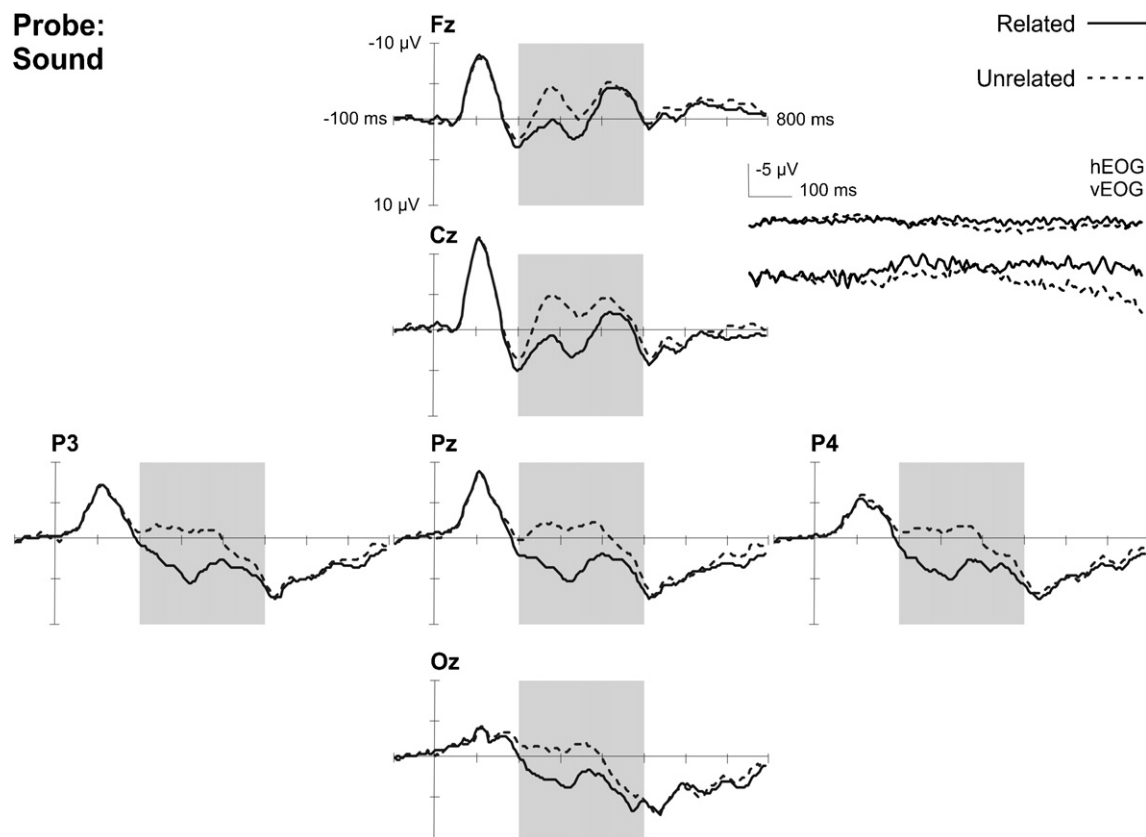


Fig. 1. ERPs to auditory probe stimuli (word/sound condition). The interval 200–500 ms post-stimulus is highlighted, negativity is up.

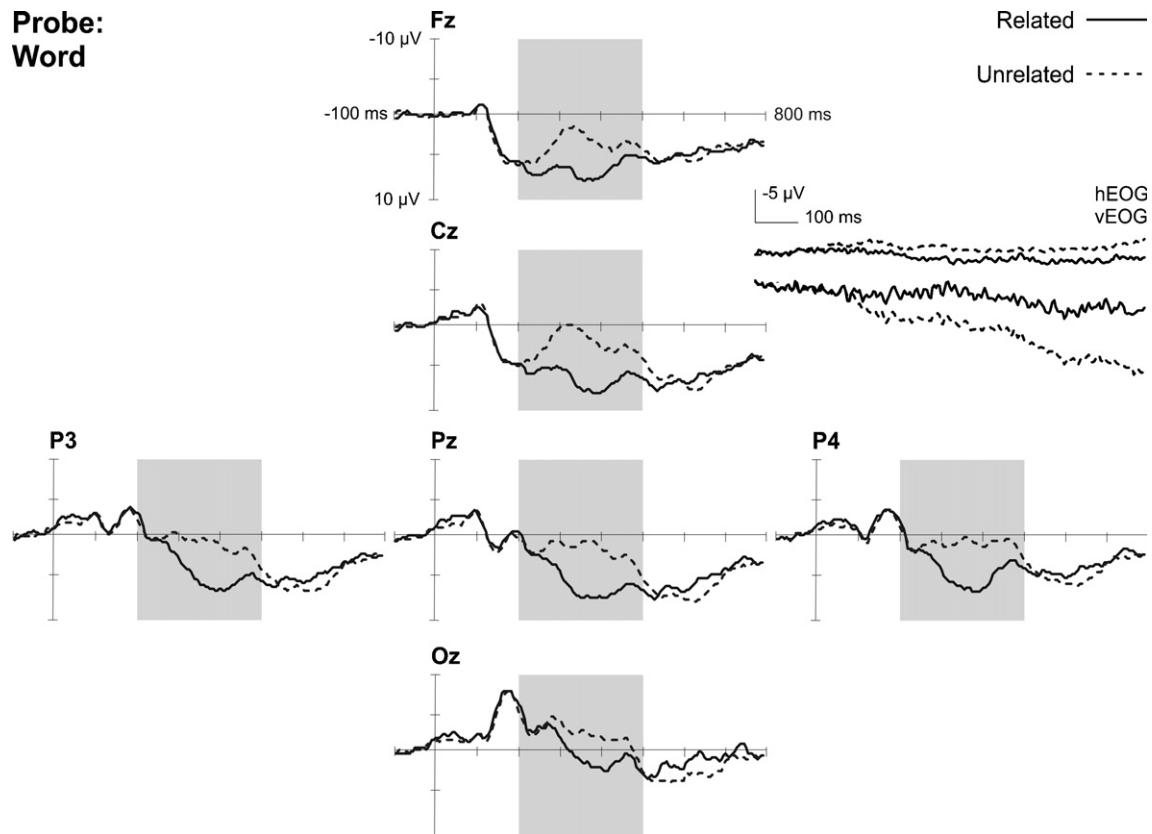


Fig. 2. ERPs to visual probe stimuli (sound/word condition). The interval 200–500 ms post-stimulus is highlighted, negativity is up.

due to causal uncertainties that influence labeling of environmental sounds.¹

3.2. ERPs

Grand average ERP waveforms to auditory and visual probe stimuli are shown in Figs. 1 and 2. Between 200 and 500 ms post stimulus unrelated words as well as environmental sounds produced a more negative potential than did related stimuli (main effect of relatedness: $F(1, 16) = 58.34$, $p < .0001$). However the effect differs for words and sounds in time course as well as in topography. First, the N400-effect for sounds displays an earlier onset and offset than the N400-effect for words (time-slot * probe modality * relatedness: $F(2, 32) = 17.43$, $p < .001$, $\epsilon = .69$). Second, whereas the N400-effect for sounds reaches its maximum over parietal electrodes, the N400-effect for words is more pronounced over Fz and Cz (electrode position * probe modality * relatedness: $F(5, 80)$

$= 5.13$, $p < .05$, $\epsilon = .29$). More precisely topographical differences are most obvious in the onset and offset of the N400-effect for words and sounds, respectively, (time-slot * electrode position * probe modality * relatedness: $F(10, 160) = 4.37$, $p < .01$, $\epsilon = .36$).

Separate analyses were conducted for environmental sounds and words in the three time-slots 200–300, 300–400 and 400–500 ms after presentation of the probe stimulus. In the first time-slot, a relatedness effect was evident for both words and sounds at Fz and Cz. More posterior electrodes however displayed an effect of relatedness only for sounds (Pz ($F(1, 16) = 37.70$, $p < .0001$), P3 ($F(1, 16) = 35.61$, $p < .0001$), P4 ($F(1, 16) = 68.34$, $p < .0001$) and Oz ($F(1, 16) = 39.67$, $p < .0001$)) but not for words (Pz, P3, P4 and Oz all $p = n.s.$). In the second and in the third time-slot no major differences between modalities were evident. Both stimulus types displayed a relatedness effect across all electrodes $p = n.s.$ with one exception. For sounds the relatedness effect ceased earlier frontally (main effect of relatedness over Fz in the third time-slot for words ($F(1, 16) = 5.1$, $p < .05$), but not for sounds ($F(1, 16) = 0.21$, $p = n.s.$)).

A separate analysis including block order as between subject variable was conducted to control for repetition priming effects. However the relatedness effect did not depend on whether stimuli were presented in the first or the second half of the experiment (all effects involving relatedness $p > .05$).

¹ The pattern of behavioral results may be due to the greater ambiguity of environmental sounds (Fabiani, Kazmerski, Cycowicz, & Friedman, 1996). Although fewer errors are made when the task is to rule out labels for an environmental sound in the unrelated condition, still it takes longer because more possible causes are evaluated. Contrastingly in the priming condition fewer possible explanations are evaluated, so that the decision is made quicker but less accurately. This may be especially the case in the sound/word condition (see Section 4).

4. Discussion

We investigated whether conceptual priming might be obtained with pairs of visually presented words and environmental sounds. A context effect in response latency as well as an N400-effect comparing unrelated and related probe stimuli were elicited by both kinds of stimuli. However ERPs to sounds exhibited an earlier onset of the N400-effect across posterior electrodes than did the ERPs to words. An onset latency of 200ms has also been reported in studies on the N400-effect elicited by spoken language (Holcomb & Anderson, 1993; Holcomb & Neville, 1990). Still similar onset latencies for spoken words and environmental sounds may seem surprising as Fabiani et al. (1996) stated that environmental sounds may be more difficult to process than pictures or words due to their greater ambiguity. A dog for instance may snarl or bark with both sounds referring to the same concept “dog”. From this point of view one would expect sounds to be processed more slowly than words. Possibly priming a sound with a word diminished this ambiguity, leading to an onset latency comparable to that for spoken words. Contrastingly priming a word with a sound may have led to conflicting expectations concerning the appropriate word. This way the later onset of the N400-effect for words as well as the higher error rates in that condition could be explained. Conceptual priming for sounds in this study is especially reflected in the ERP results.²

As with other studies using non-verbal material, the question arises whether the actual non-verbal stimulus or its subsequent vocalization lead to a context effect. However at least in the word/sound condition in which the N400-effect starts as early as 200ms post stimulus vocalization of an environmental sound seems rather unlikely, as vocalization would have to occur within these 200ms after presentation of the sound. In sum the present findings add more evidence to the notion that the N400 is sensitive not only to linguistic stimuli and that conceptual processing of environmental sounds may be similar to conceptual processing of words, even if the words are presented in the visual modality.

Interestingly our findings are at odds with the behavioral results of Stuart and Jones (1995), who also used visually presented words and environmental sounds and did not find conceptual priming in an identification task. This suggests that their procedure may not have been sensitive enough to test for cross-form priming effects that are actually more pronounced in response latency and especially ERP measures. As far as can be concluded from only two lateral electrodes, the present study does not provide any evidence for different patterns of lateralization comparing sounds and words.

Aside from that our finding that words exhibit a slightly more frontal distribution of the N400-effect than sounds is difficult to interpret as stimulus form is confounded with presentation modality in our experiment. However studies using a wider range of electrodes and manipulating stimulus modality and stimulus forms independently may assess questions of topography in more detail.

Appendix A

animal	instrument	everyday sound
Affe (ape)	Banjo (banjo)	Plätschern (ripple)
Delphin (dolphin)	Bass (bass)	Reißverschluss (zipper)
Elefant (elephant)	Becken (cymbal)	Rülpsen (belch)
Ente (duck)	E-Gitarre (electric guitar)	Schluckauf (hiccup)
Frosch (frog)	Gitarre (guitar)	Telefon (telephone)
Grille (cricket)	Gong (gong)	Gläser (glasses)
Huhn (chicken)	Orgel (harmonium)	Zähneputzen (tooth brushing)
Hund (dog)	Hörner (cornet)	Taste (button)
Krähe (crow)	Klarinette (clarinet)	Münzen (coins)
Kuh (cow)	Klavier (piano)	Herzschlag (heartbeat)
Möwe (gull)	Xylophon (xylophone)	Husten (cough)
Pferd (horse)	Oboe (oboe)	Kasse (till)
Schaf (sheep)	Flöte (flute)	Glocke (church bell)
Schwein (pig)	Saxophon (saxophon)	Klopfen (knock)
Robbe (seal)	Schlagzeug (drums)	Kuckucksuhr (cuckoo clock)
Ziege (goat)	Geige (violin)	Klingel (bell)
Hahn (cock)	Chor (choir)	Kuss (kiss)

The appendix denotes the list of visually presented German words (translations in parentheses). Each word labelled a corresponding sound. In the related condition label and sound were presented as stimulus pair. In the unrelated condition sounds were paired equally often with labels from the other two categories at random.

References

- Bajo, M. T. (1988). Semantic facilitation with pictures and words. *Journal of Experimental Psychology—Learning Memory and Cognition*, 14, 579–589.
- Ballas, J. A. (1993). Common factors in the identification of an assortment of brief everyday sounds. *Journal of Experimental Psychology—Human Perception and Performance*, 19, 250–267.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 343–355.

² However the reported N400-effect alone may not be sufficient as a proof of priming. A behavioral priming effect is equally important. Although priming is present in response latency, it is not in the error rates. However greater ambiguity of environmental sound seems a convincing explanation for this lack of a priming effect in the error rates. Aside from that Heil, Rolke, and Pecchinenda (2004) have shown that semantic context effects can be observed in the absence of behavioral priming.

- Castle, P. C., Van Toller, S., & Milligan, G. J. (2000). The effect of odour priming on cortical EEG and visual ERP responses. *International Journal of Psychophysiology*, *36*, 123–131.
- Chiu, C. Y. P., & Schacter, D. L. (1995). Auditory priming for nonverbal information: implicit and explicit memory for environmental sounds. *Consciousness and Cognition*, *4*, 440–458.
- Fabiani, M., Kazmerski, V. A., Cycowicz, Y. M., & Friedman, D. (1996). Naming norms for brief environmental sounds: effects of age and dementia. *Psychophysiology*, *33*, 462–475.
- Fogelson, N., Loukas, C., Brown, J., & Brown, P. (2004). A common N400 EEG component reflecting contextual integration irrespective of symbolic form. *Clinical Neurophysiology*, *115*, 1349–1358.
- Ganis, G., Kutas, M., & Sereno, M. I. (1996). The search for “common sense”: an electrophysiological study of the comprehension of words and pictures in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *8*, 89–106.
- Heil, M., Rolke, B., & Pecchinenda, A. (2004). Automatic semantic activation is no myth—semantic context effects on the N400 in the letter-search task in the absence of response time effects. *Psychological Science*, *15*, 852–857.
- Holcomb, P. J., & Anderson, J. E. (1993). Cross-modal semantic priming—a time-course analysis using event-related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, *8*, 379–411.
- Holcomb, P. J., & Neville, H. J. (1990). Auditory and visual semantic priming in lexical decision—a comparison using event-related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, *5*, 281–312.
- Jost, K., Hennighausen, E., & Rosler, F. (2004). Comparing arithmetic and semantic fact retrieval: effects of problem size and sentence constraint on event-related brain potentials. *Psychophysiology*, *41*, 46–59.
- Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T., & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience*, *7*, 302–307.
- Kutas, M., & Van Petten, C. (1994). Psycholinguistics electrified. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 83–143). San Diego: Academic Press.
- McNamara, T. P. (2005). *Semantic Priming: perspectives from memory and word recognition*. New York and Hove: Psychology Press.
- McPherson, W. B., & Holcomb, P. J. (1999). An electrophysiological investigation of semantic priming with pictures of real objects. *Psychophysiology*, *36*, 53–65.
- Neely, J. (1991). Semantic priming effects in visual word recognition: a selective review of current findings and theories. In D. Besner & G. W. Humphreys (Eds.), *Basic processes in reading. Visual word recognition* (pp. 264–337). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Nigam, A., Hoffman, J. E., & Simons, R. F. (1992). N400 to semantically anomalous pictures and words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *4*, 15–22.
- Sarfarazi, M., Cave, B., Richardson, A., Behan, J., & Sedgwick, E. M. (1999). Visual event related potentials modulated by contextually relevant and irrelevant olfactory primes. *Chemical Senses*, *24*, 145–154.
- Stuart, G. P., & Jones, D. M. (1995). Priming the identification of environmental sounds. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A—Human Experimental Psychology*, *48*, 741–761.
- Van Petten, C., & Rieffers, H. (1995). Conceptual relationships between spoken words and environmental sounds: event-related brain potential measures. *Neuropsychologia*, *33*, 485–508.

7.2. Experiment 2

Orgs G., Lange K., Dombrowski J-H., Heil, M. (2007). Is conceptual priming for environmental sounds obligatory?, *International Journal of Psychophysiology*, 65, 162-166.

Is conceptual priming for environmental sounds obligatory?

Guido Orgs^{*}, Kathrin Lange, Jan-Henryk Dombrowski, Martin Heil

Department of Experimental Psychology, Heinrich-Heine University Düsseldorf, Universitätsstr. 1, 40225 Düsseldorf, Germany

Received 25 July 2006; received in revised form 12 January 2007; accepted 6 March 2007

Available online 13 March 2007

Abstract

Conceptual priming for environmental sounds was examined in two tasks using pairs of a visually presented word (prime stimulus) and an environmental sound (probe stimulus). In the first task (physical task) participants had to indicate to which ear the sound was presented. In the second task (semantic task) participants judged whether word and sound of a pair fitted together. Participants switched between the two tasks randomly, with the color of the word indicating each trial which task was to be performed. An N400-effect for unrelated compared to related sounds was observed in both tasks, although reaction times did not reveal a statistically reliable priming effect. The results show that environmental sounds are processed conceptually even if the task does not require analysis of stimulus meaning.

© 2007 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Semantic priming; N400; Environmental sounds; Levels of processing; ERP; Conceptual processing, automatic

1. Introduction

In semantic priming a response to a probe stimulus occurs faster when it is preceded by a prime stimulus that is semantically related (McNamara, 2005; Neely, 1991). In event-related potentials (ERPs) semantic priming for words correlates with the modulation of a negative deflection peaking around 400 ms after presentation of the probe word (N400). Unrelated words produce a greater negativity than do related words (Bentin et al., 1985). This N400-effect is considered to reflect stimulus processing in relation to a previously established semantic context (Kutas and Van Petten, 1994). In order to assess whether or not semantic processing is qualitatively different for verbal and nonverbal information, nonverbal but meaningful stimulus material, such as environmental sounds have been used. Environmental sounds are produced by a real event and have a meaning by virtue of their causal relation to that event. Ballas (1993, Experiment 4) presented words suggesting causes for environmental sounds. A sound was presented after a word that denoted a likely cause of the sound (conceptually related) or after a word that denoted a less likely cause of the sound (conceptually unrelated).

Participants were asked to decide whether a sound could have resulted from the event described by the word or not. Responses to sounds in related word–sound pairs were faster than responses to sounds in unrelated word–sound pairs. Two ERP studies have examined environmental sounds in such a conceptual priming paradigm using pairs of a word and a sound (Orgs et al., 2006; Van Petten and Rheinfelder, 1995). In both studies sounds that followed related words lead to faster responses and an attenuated N400 compared to sounds that followed unrelated words. These results seem to mirror those usually observed with words. Cummings et al. (2006) reported a similar study for picture–sound pairs showing an N400-effect for sounds. However, Cummings et al. (2006) did not observe a behavioral priming effect, suggesting that electrophysiological measures such as the N400-effect may be more sensitive to detect conceptual priming than behavioral measures, see also Heil, Rolke, and Pecchinenda (2004).

Conceptual priming for words has also been examined by using tasks that induce different levels of processing (physical vs. semantic stimulus properties). Whether conceptual priming or an N400-effect is present in physical tasks – that is tasks in which processing of stimulus meaning is not required – is crucial with regard to the question if semantic or conceptual processing may be obligatory. The absence of an N400-effect in physical tasks may suggest that the N400 primarily reflects

^{*} Corresponding author. Tel.: +49 211 8114566; fax: +49 211 81 13490.
E-mail address: orgs@uni-duesseldorf.de (G. Orgs).

controlled processes (Bentin et al., 1993; Chwilla et al., 1995). However, Kiefer (in press) argued that an N400-effect may be dependent on task instructions in a masked priming paradigm as well, indicating that the absence of an N400-effect may not be equated with the absence of automatic processing per se. In contrast an intact N400-effect in physical tasks may reflect automatic semantic processing (Heil et al., 2004; Perrin and Garcia-Larrea, 2003), in particular if processing of the relevant stimuli is unconscious (Kiefer and Brendel, 2006; Rolke et al., 2001).

To the present, it has not been examined systematically in how far conceptual priming for environmental sounds depends on the level of processing as induced by task instructions. There are however some findings indicating that conceptual processing of environmental sounds may be obligatory. For example it seems that the task employed by Van Petten and Rheinfelder (1995) – in contrast to the matching task employed by Orgs et al. (2006) – can be performed successfully without explicit processing of stimulus meaning by only analyzing the acoustic properties of the sounds. In the study by Van Petten and Rheinfelder (1995) participants indicated whether a sound fragment had been part of the previously presented sound or not. Moreover, in a study employing a novelty oddball paradigm, Mecklinger, Opitz, and Friederici (1997) observed an N400-like component for novel task-irrelevant meaningful sounds but not for sounds that had no meaning. Another study examining novelty processing by Friedman et al. (2003) may also indicate obligatory processing of sound meaning. Friedman et al. (2003) presented meaningful environmental sounds and their verbal counterparts as non-target novel stimuli. If a novel sound was presented after its verbal counterpart, a reduction of the novelty P3 was observed, possibly indicating that stimulus meaning might have been processed though it was task-irrelevant.

Using the same conceptual priming paradigm as in our previous study (Orgs et al., 2006), in the present experiment we tried to investigate whether an N400-effect for environmental sounds can be elicited if the task employed only requires processing of the acoustic properties of the sound compared to a task in which semantic processing is explicitly induced.

2. Methods

2.1. Subjects

Sixteen volunteers (11 women) participated in the study after signing informed consent. Participants were 20 to 31 years old (mean age: 24.9). All participants were native German speakers and reported normal hearing sensitivity. Two of the participants were left-handed. Participants received a monetary compensation or fulfilled course requirements.

2.2. Stimuli and procedure

Forty environmental sounds were collected from the Internet and commercially available sound CDs. All sounds were trimmed to a duration of 300 ms (rise and fall time 20 ms) and were standardized for sound quality (44.100 kHz, 16 bit, stereo)

using Adobe® Audition™ 1.5. Twenty sounds were instruments (e.g., violin, saxophone), and twenty sounds were everyday sounds (e.g., bell ringing, coughing). Stimulus pairs were formed, in which the first stimulus (prime) was a visually presented word and the second stimulus (probe) was a related or an unrelated sound, resulting in 80 stimulus pairs. In related stimulus pairs words labeled the sound correctly (e.g., the word engine was followed by the sound of starting an engine). In unrelated stimulus pairs an incorrect word label from the other category was randomly assigned to a sound for each experimental session (e.g., the word engine was followed by the sound of a piano). All related stimulus pairs had a matching rate of at least 80% as determined by a pilot experiment, for details see Orgs et al. (2006). To minimize systematic repetition effects, the order of related and unrelated trials was randomized for each participant.

All participants performed two tasks: in the physical task participants judged whether the sound was presented to the right or to the left ear. In the semantic task participants judged whether word and sound fit together semantically. For each trial the color of the word (blue or red) indicated which task the participant had to perform. This guaranteed that the prime word was processed, as participants only knew which task to perform by considering the color of the prime word in each trial. Assignment of word color to task was counterbalanced across participants.

Each trial was initiated by a button press. A central fixation cross appeared on the screen and after a random interval that varied between 400 and 900 ms (rectangular distribution) a word was presented visually for 300 ms ($3.6^\circ \times 0.6^\circ$ visual angle on average, 90-cm distance). A sound with a duration of 300 ms was presented 1000 ms after the onset of the word via headphones to the left or to the right ear. The participants had 2200 ms to make a response by pressing one of two buttons. Assignment of Yes/No responses to buttons in the conceptual task was counterbalanced across participants. In the physical task button press and presentation ear always corresponded to each other (left ear, left button). Within an experimental session each stimulus was presented eight times in a random fashion. For each task, eighty word–sound pairs (with half of them related) were presented to the right ear and 80 word–sound pairs were presented to the left ear, adding up to 160 stimulus pairs per task. Thus the experiment proper consisted of 320 trials which were randomized for each experimental session. Participants were instructed not to move or blink during a trial. Prior to the main experiment, participants completed 32 practice trials with sounds not used in the experiment proper.

2.3. EEG recording and data analysis

Participants were seated in an electrically shielded, dimly lit room. The electroencephalogram (EEG) was recorded from six Ag/AgCl electrodes placed at Fz, Cz, Pz, Oz, P3 and P4, based on the international 10–20 system. All electrodes were attached directly to the scalp and were referenced to digitally averaged earlobes. Impedance was kept below 5 k Ω . To control for eye movement artifacts vertical and horizontal electrooculogram

Table 1
Behavioral results

Task	Reaction times (in ms)		Error rates (in %)	
	Physical	Semantic	Physical	Semantic
Related	845 (61.3)	952 (57.9)	4.6 (1.0)	7.0 (1.0)
Unrelated	859 (62.6)	970 (51.2)	5.3 (1.4)	3.9 (0.1)

Mean reaction times and error rates in the four experimental conditions, standard errors are written in parentheses.

(EOG) was recorded. A ground electrode was placed at the forehead above the nasion. The EEG was digitized at 250 Hz and an online band pass was set from DC to 100 Hz. An offline filter was set from 0.5 to 40 Hz. Trials with eye or body movement artifacts were discarded according to the following criteria: the maximal allowed voltage step between two sampling points was 50 μ V and the minimal or maximal absolute amplitude should not exceed -100 or $+100$ μ V.

ERPs to sounds were extracted by averaging separately for related and unrelated conditions. Only trials on which a correct response had occurred were included. Epochs started 100 ms before presentation of a sound and had a length of 1000 ms. N400 amplitudes were quantified as the mean voltage in the time window 200–500 ms after presentation of the probe

stimulus. The time window was chosen according to our previous study (Orgs et al., 2006). A repeated measures analysis of variance (ANOVA) was conducted with the factors electrode position (six levels), task (two levels) and relatedness (two levels). ANOVA results were corrected for sphericity using the Greenhouse–Geisser epsilon where appropriate (uncorrected df are reported with the ϵ and corrected p values). Mean reaction times (only correct responses) and error rates were analyzed using repeated measures ANOVA with task (two levels) and relatedness (two levels) as within-subject factors.

3. Results

3.1. Behavioral data

On the descriptive level participants reacted faster to related than to unrelated sounds in both tasks, but neither a main effect of relatedness ($F(1,15)=0.94, p=n.s.$) nor an interaction of relatedness with task ($F(1,15)=0.02, p=n.s.$) reached the level of significance. However, participants reacted on average 100 ms faster in the physical than in the semantic task, as revealed in a main effect of task ($F(1,15)=6.19, p<0.05$) (Table 1).

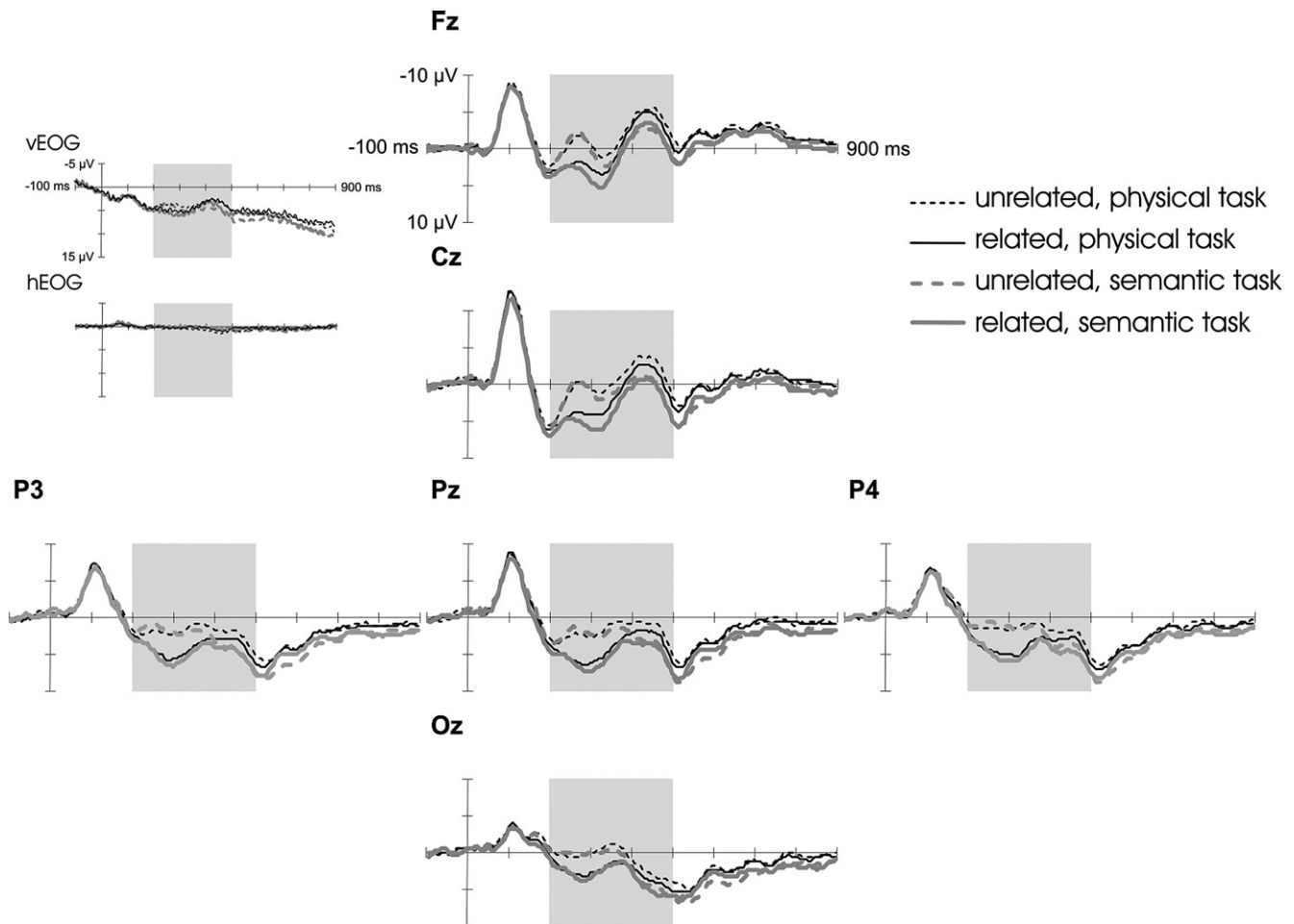


Fig. 1. ERPs to sounds in the physical (black lines) and the semantic (gray lines) task for related (solid lines) and unrelated (dotted lines) word–sounds pairs. The interval 200–500 ms post-stimulus is highlighted, negative is up.

In contrast to reaction times, error rates were not generally influenced by the task performed (main effect of task: $F(1,15)=0.15$, $p=n.s.$). However, relatedness effected error rates differently in the semantic and in the physical task (task * relatedness: $F(1,15)=7.3$, $p<0.05$). Post hoc analyses conducted separately for both tasks revealed higher error rates in the related than in the unrelated condition for the semantic task ($F(1,15)=7.75$, $p<0.05$) but not in the physical task ($F(1,15)=0.63$, $p=n.s.$).

3.2. ERPs

Grand average ERP waveforms to sounds are displayed in Fig. 1. In both tasks unrelated sounds produced a more negative ERP than did related sounds (main effect of relatedness: $F(1,15)=52.49$, $p<0.0001$). The N400-effect was evident in both tasks and did not display any topographical differences between tasks (task * relatedness: $F(1,15)=0.02$, $p=n.s.$ and task * relatedness * electrode position: $F(5,75)=0.47$, $p=n.s.$).

Aside from that we observed a general effect of task which we had not hypothesized. ERPs were more positive in the semantic task than in the physical task across all electrode sites as indicated by a significant interaction task * electrode position ($F(5,75)=4.08$, $p<0.05$).

4. Discussion

We investigated whether conceptual priming for environmental sounds is sensitive to the level of processing as induced by task instructions, that is, if processing of only physical characteristics of a sound such as presentation side is associated with a reduction of behavioral priming and/or the N400-effect.

Most importantly an N400-effect was elicited by sounds in the semantic as well as in the physical task. With respect to the semantic task the ERP results replicated the data reported in Orgs et al. (2006). However, in contrast to our previous findings a priming effect in response latency was not observed. Taking into account that reaction times in the semantic task were almost 300 ms longer compared to our previous study, this may indicate that it was possibly rather difficult for the participants to switch between the physical and the semantic task randomly from trial to trial. Moreover, reactions in the semantic task were on average 100 ms slower than in the physical task in both relatedness conditions. Thus switch costs as well as processing differences between the two tasks may have masked possible effects of relatedness on response latency. Whereas in the physical task error rates did not depend on relatedness, the results in the semantic task mirrored previous results as reported by Orgs et al. (2006). Higher error rates in the related compared to the unrelated condition may result from a greater ambiguity associated with environmental sounds (Fabiani et al., 1996). Although fewer errors are made if the task is to rule out labels for an environmental sound in the unrelated condition, it still takes longer because more possible causes are evaluated. Contrastingly in the related condition fewer possible explanations are evaluated, so that the decision is made more quickly but with less accuracy. Such a strategy affecting speed–

accuracy trade-off may have only been applied in the semantic task and may not have influenced error rates in the physical task, in which such a decision on possible causes of a sound is not necessary. In so far the error rates may indicate that participants explicitly evaluated stimulus meaning only in the semantic task and not in the physical task. Nevertheless, behavioral measures in our study seemed to be modulated more by task and less so by relatedness. Therefore, inferences about causes for the lack of a relatedness effect in the physical task should be made cautiously.

In contrast to the behavioral measures, in which an effect of relatedness was only apparent in the error rates in the semantic task, ERPs display an N400-effect for unrelated compared to related sounds in the semantic as well as in the physical task. These N400-effects showed a similar distribution across time and electrodes indicating that conceptual processing might be the same in both tasks. The finding of an N400-effect for environmental sounds in the physical task condition is in line with studies that claim automatic semantic processing for verbal stimuli (Heil et al., 2004; Perrin and Garcia-Larrea, 2003). Thus automatic processing of meaning may not be limited to the verbal domain but may also play a role in the processing of nonverbal stimuli such as environmental sounds.

Using nonverbal material, the question arises whether the actual nonverbal stimulus or its subsequent vocalization evokes a relatedness effect. However, in both tasks the N400-effect started as early as 200 ms after the onset of the sound. Thus vocalization would have to occur within these 200 ms after presentation of the sound, which seems rather unlikely.

With respect to the similarity of the N400-effect between the semantic and the physical task one could claim that switching tasks randomly between trials may have led to carry-over effects. Participants may have processed semantic features of the sounds in the physical task even if they were not relevant. The fact that the stimuli were presented repeatedly may have additionally enhanced this effect by increasing stimulus familiarity, although presentation of stimuli was fully randomized. However, in contrast to the semantic task, error rates in the physical task were not influenced by relatedness, probably indicating that meaning of a sound was not evaluated here. Moreover, reactions times in the semantic task were generally slower than in the physical task and the ERP was more positive, possibly showing as well that the two tasks differed in terms of their processing requirements (Holcomb, 1988; Molnar, 1999; Polich and Kok, 1995). Aside from that our ERP results revealed a double-peak across frontal electrodes. One could speculate that this double-peak may reflect two sub-processes of the N400-effect as proposed by Cummings et al. (2006), one earlier process which is stimulus-locked, possibly reflecting semantic integration or stimulus recognition, and a later more frontally located response-locked process, which may reflect more unspecific processes related to task demands and response monitoring. On the descriptive level the relatedness effect seems most pronounced in the earlier peak whereas the later peak seems to be mostly affected by task differences. However, Cummings et al. (2006) based their interpretation

on single-trial analysis, and their results cannot be easily compared with ours. However, future studies may examine the time course of the N400-effect for environmental sounds in more detail.

In sum the present findings show that an N400-effect can be elicited not only using words but also with nonverbal stimuli such as environmental sounds and that such processing may potentially even be automatic, as it can be observed in a task that only requires processing of physical features of a stimulus. Conceptual processing as indexed by the N400-effect seems not to be task-dependent. Nevertheless, at least a contribution of carry-over effects to the relatedness effect in the physical task cannot be fully excluded from this study, also because a relatedness effect in reaction times could not be replicated, see Orgs et al. (2006). Although at present it might be too early to claim that conceptual processing of environmental sounds is obligatory in a strict sense, the similarity between the N400-effect in the semantic and the physical task conditions indicate that automatic processing of sound meaning may have occurred.

Acknowledgement

The authors thank Jennifer Paszek for her help collecting the ERP data. This study was supported by the German Research Foundation (DFG) grant He 1856.

Appendix A

Instrument	Everyday sound
Banjo (banjo)	Plätschern (ripple)
Bass (bass)	Reißverschluss (zipper)
Becken (cymbal)	Rülpsen (belch)
E-Gitarre (electric guitar)	Schluckauf (hiccup)
Gitarre (guitar)	Telefon (telephone)
Gong (gong)	Gläser (glasses)
Orgel (harmonium)	Zähneputzen (tooth brushing)
Hörner (cornet)	Taste (button)
Klarinette (clarinet)	Münzen (coins)
Klavier (piano)	Herzschlag (heartbeat)
Xylophon (xylophone)	Husten (cough)
Oboe (oboe)	Kasse (till)
Flöte (flute)	Glocke (church bell)
Saxophon (saxophon)	Klopfen (knock)
Schlagzeug (drums)	Kuckucksuhr (cuckoo clock)
Geige (violin)	Klingel (bell)
Chor (choir)	Kuss (kiss)
Trompete (trumpet)	Jodeln (yodel)
Harfe (harp)	Papier (page turning)
Pauke (bass drum)	Motor (engine start)

Appendix A: The appendix denotes the list of visually presented words. Each word labeled a corresponding sound. In the related condition word label and sound were presented as a stimulus pair. In the unrelated condition sounds were paired with a word label from the other category at random.

References

- Ballas, J.A., 1993. Common factors in the identification of an assortment of brief everyday sounds. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance* 19, 250–267.
- Bentin, S., McCarthy, G., Wood, C.C., 1985. Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 60, 343–355.
- Bentin, S., Kutas, M., Hillyard, S.A., 1993. Electrophysiological evidence for task effects on semantic priming in auditory word-processing. *Psychophysiology* 30, 161–169.
- Chwilla, D.J., Brown, C.M., Hagoort, P., 1995. The N400 as a function of the level of processing. *Psychophysiology* 32, 274–285.
- Cummings, A., Ceponiene, R., Koyama, A., Saygin, A.P., Townsend, J., Dick, F., 2006. Auditory semantic networks for words and natural sounds. *Brain Research* 1115, 92–107.
- Fabiani, M., Kazmerski, V.A., Cycowicz, Y.M., Friedman, D., 1996. Naming norms for brief environmental sounds: effects of age and dementia. *Psychophysiology* 33, 462–475.
- Friedman, D., Cycowicz, Y.M., Dziobek, I., 2003. Cross-form conceptual relations between sounds and words: effects on the novelty P3. *Cognitive Brain Research* 18, 58–64.
- Heil, M., Rolke, B., Pecchinenda, A., 2004. Automatic semantic activation is no myth—semantic context effects on the N400 in the letter–search task in the absence of response time effects. *Psychological Science* 15, 852–857.
- Holcomb, P.J., 1988. Automatic and attentional processing—an event-related brain potential analysis of semantic priming. *Brain and Language* 35, 66–85.
- Kiefer, M., in press. Top-down modulation of unconscious “automatic” processing: a gating framework. *Advances in Cognitive Psychology*.
- Kiefer, M., Brendel, D., 2006. Attentional modulation of unconscious “automatic” processes: evidence from event-related potentials in a masked priming paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience* 18, 184–198.
- Kutas, M., Van Petten, C., 1994. Psycholinguistics electrified. In: Gernsbacher, M.A. (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics*. Academic Press, San Diego, pp. 83–143.
- McNamara, T.P., 2005. *Semantic Priming: Perspectives From Memory and Word Recognition*. Psychology Press, New York.
- Mecklinger, A., Opitz, B., Friederici, A.D., 1997. Semantic aspects of novelty detection in humans. *Neuroscience Letters* 235, 65–68.
- Molnar, M., 1999. The dimensional complexity of the P3 event-related potential: area-specific and task-dependent features. *Clinical Neurophysiology* 110, 31–38.
- Neely, J., 1991. Semantic priming effects in visual word recognition: a selective review of current findings and theories. In: Besner, D., Humphreys, G.W. (Eds.), *Basic Processes in Reading. Visual Word Recognition*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, pp. 264–337.
- Orgs, G., Lange, K., Dombrowski, J.H., Heil, M., 2006. Conceptual priming for environmental sounds and words: an ERP study. *Brain and Cognition* 62 (3), 267–272.
- Perrin, F., Garcia-Larrea, L., 2003. Modulation of the N400 potential during auditory phonological/semantic interaction. *Cognitive Brain Research* 17, 36–47.
- Polich, J., Kok, A., 1995. Cognitive and biological determinants of P300—an integrative review. *Biological Psychology* 41 (2), 103–146.
- Rolke, B., Heil, M., Streb, J., Hennighausen, E., 2001. Missed prime words within the attentional blink evoke an N400 semantic priming effect. *Psychophysiology* 38, 165–174.
- Van Petten, C., Rieffelder, H., 1995. Conceptual relationships between spoken words and environmental sounds: event-related brain potential measures. *Neuropsychologia* 33, 485–508.

7.3. Experiment 3

Orgs G., Lange K., Dombrowski J-H., Heil, M. (*submitted*). N400-effects to task-irrelevant environmental sounds: further evidence for obligatory semantic processing.

N400-effects to task-irrelevant environmental sounds: further evidence for obligatory
conceptual processing

Guido Orgs¹, Kathrin Lange¹, Jan-Henryk Dombrowski¹ and Martin Heil¹

¹Department of Experimental Psychology, Heinrich-Heine-University Düsseldorf,
Germany

Manuscript: 3138 words including references, 1 table and 2 figures, abstract: 128
words

Corresponding author

Dipl.-Psych. Guido Orgs

Department of Experimental Psychology

Heinrich-Heine-University Düsseldorf, Germany

Universitätsstr. 1, 40225 Düsseldorf

phone: 0049-211-811-4566, fax: 0049-211-811-3490

e-mail: orgs@uni-duesseldorf.de

This study was supported by the German Research Foundation (DFG)

Abstract

We assessed conceptual priming for environmental sounds in two tasks using pairs of a visually presented word (prime) and an environmental sound (probe). In the physical task, participants indicated to which ear the sound was presented. In the semantic task, participants judged whether word and sound fitted together. The physical always preceded the semantic task to exclude semantic carry-over effects. In both tasks prime word color indicated whether a response was required (Go/NoGo-trials). An N400-effect for unrelated vs. related sounds was observed in all four conditions resulting from the combination of both tasks with response requirement. However, the N400-effect was reduced in the physical task and in NoGo-trials. Hence, meaning of environmental sounds may be processed obligatorily. Both automatic and controlled processes mediate the analysis of sound meaning.

Keywords: Semantic Priming; Conceptual processing; N400; environmental sounds; ERP; automatic processing;

Introduction

Conceptual relationships can be examined in the semantic priming paradigm. Typically, a response to a word occurs faster if preceded by a semantically related word, than if preceded by a semantically unrelated word [16, 17]. In event-related potentials (ERPs), unrelated words produce a larger negative amplitude than related words around 400 ms post-stimulus - the N400-effect [3]. Functionally, the N400 is considered to reflect stimulus processing in relation to a previously established semantic context [13]. The majority of research on semantic priming - and the N400-effect - has been conducted with words and sentences. However, studies on conceptual relationships between verbal and nonverbal stimuli may reveal similarities in line with a multimodal approach to conceptual representations [8]. In one line of research, conceptual priming for environmental sounds has been observed using behavioral [1] as well as electrophysiological measures [6, 18, 19, 22]. In these studies, conceptual priming for environmental sounds was observed using word-sound pairs [18, 19, 22] or picture-sound pairs [6]. Sounds (probe stimuli) that followed unrelated words or pictures (prime stimuli) led to larger N400-amplitudes than sounds that followed related words or pictures. These results mirror those that are usually observed with word probes. However, a behavioral priming effect was only found in two of these studies [18, 22], suggesting that the N400-effect may be more sensitive to semantic processing than behavioral measures [11].

In a previous experiment [19] we examined conceptual priming for sounds under task instructions inducing different levels of processing (physical vs. semantic). In the

physical task participants judged presentation side of the sound, thus sound meaning was irrelevant. In the semantic task participants explicitly judged conceptual relatedness between word and sound. The absence of an N400-effect in physical tasks may suggest that the N400 primarily reflects controlled processes [2, 5] whereas an intact N400-effect in physical tasks may reflect automatic semantic processing [11, 20]. In our study, we observed an N400-effect of similar time-course and electrode distribution in both tasks. Thus semantic features seemed to be processed obligatorily in the physical task. Still, as physical and semantic tasks switched randomly from trial to trial, it can not be fully excluded that carry-over effects may have influenced our results to some extent. Participants may have processed semantic features of the sounds in the physical task even if they were task-irrelevant.

In the present experiment, we prevented carry-over effects from the semantic to the physical task by presenting each task in a separate block with the physical task *always preceding* the semantic one. In addition to this, NoGo-trials were included in both tasks [12, 21] with prime word color indicating response requirement, that is Go vs. NoGo-trials. Thus, prime color and - as a consequence [14] - prime meaning were processed in all trials, but the probe sound was completely irrelevant in NoGo-trials of both tasks. Even in Go-trials of the physical task, only presentation side but not meaning was relevant. Semantic carry-over effects, if present, may be observed between Go- and NoGo-trials of the semantic task, but should be absent in the physical task. If semantic features of a sound are indeed processed obligatorily, a N400-effect for sounds should be present in all four conditions resulting from the combination of both

tasks with Go- and NoGo-trials. Its size, however, might vary as a function of task and of response requirement.

Materials and Methods

Subjects

Sixteen volunteers participated in the study after signing informed consent. However one data set had to be excluded from analysis due to the amount of eye movement artifacts. The remaining participants (eleven women, four men, all right handed) were 20 to 29 years old (mean age: 24). All participants were native German speakers and reported normal hearing sensitivity. Participants received a monetary compensation or fulfilled course requirements.

Stimuli and Procedure

Stimuli were identical to the ones previously used [19] and comprised 40 environmental sounds collected from the Internet and commercially available sound CDs. All sounds were trimmed to a duration of 300 ms (rise and fall time 20 ms) and were standardized for sound quality (44.100 kHz, 16 bit, stereo) using Adobe® Audition™ 1.5. Twenty sounds were instruments (e.g. violin, saxophone), and twenty sounds were everyday sounds (e.g. bell ringing, coughing). Stimulus pairs were formed, in which the prime was a visually presented word and the probe was a related or an unrelated sound, resulting in 80 stimulus pairs per block (task). In related stimulus pairs words labeled the sound correctly (e.g. the word *engine* was followed by the sound of starting an engine). In unrelated stimulus pairs an incorrect word label from the other category was randomly assigned to a sound for each block

and each experimental session (e.g. the word *piano* was followed by the sound of starting an engine). All related stimulus pairs were correctly identified at a rate of at least 80%, as determined by a previously reported pilot experiment [18]. For each block, 160 word-sound pairs (with half of them related) were presented to the right ear and 160 word-sound pairs were presented to the left ear, adding up to 320 stimulus pairs per block. Half of these trials were NoGo-trials. Thus each block consisted of 320 trials and altogether each stimulus was presented eight times. To minimize systematic repetition effects, the order of related and unrelated trials was randomized for each participant and within each block.

All participants performed two tasks: In the physical task (first block) participants judged whether the sound was presented to the right or to the left ear. In the semantic task (second block) participants judged whether word and sound fitted together semantically. Presentation of blocks was *not* counterbalanced in order to prevent semantic carry-over effects in the physical task. For each trial the prime word color (blue or red) indicated if participants had to make a response or not (Go/NoGo). Participants needed to consider the word color to know whether a response was required, hence processing of the prime was ensured. Assignment of word color to Go/NoGo-trials was counterbalanced across participants. A trial was initiated by a button press and a central fixation cross appeared on the screen. After a random interval that varied between 400 and 900 ms (rectangular distribution) a word was presented visually for 300 ms ($3.6^{\circ} \times 0.6^{\circ}$ visual angle on average, 90 cm distance). Participants were instructed not to move or blink during a trial and to keep their gaze on the fixation cross. A sound with a duration of 300 ms was presented 1000 ms after

the onset of the word via headphones to the left or to the right ear. In Go-trials participants had to make a response within 2300 ms by pressing one of two buttons. In the physical task (first block) button press and presentation ear always corresponded to each other (left ear, left button). In the semantic task (second block) assignment of Yes/No responses to buttons was counterbalanced across participants. Prior to each block, participants completed 32 practice trials with sounds not used in the experiment proper.

EEG recording and Data analysis

Participants were seated in an electrically shielded, dimly lit room. The electroencephalogram (EEG) was recorded from six Ag/AgCl electrodes placed at Fz, Cz, Pz, Oz, P3 and P4, based on the international 10-20 system. All Electrodes were attached directly to the scalp and were referenced to digitally averaged earlobes. Impedance was kept below 5 k Ω . To control for eye movement artifacts vertical and horizontal electrooculogram (EOG) was recorded. A ground electrode was placed at the forehead. The digitization rate was 250 Hz and an online band pass was set from DC to 100 Hz. An offline filter was set from 0.5-40 Hz. Trials with eye or body movement artifacts were discarded according to the following criteria: the maximal allowed voltage step between two sampling points was 50 μ V and the minimal or maximal absolute amplitude should not exceed -100 or +100 μ V.

ERPs to sounds were extracted by averaging single trials with correct responses separately for subjects, electrodes and experimental conditions. Epochs started 100 ms before presentation of a sound and had a length of 1000 ms. Based on previous studies

[18, 19], N400-amplitudes were quantified as the mean voltage in the time window 200-500 ms after onset of the sound. A repeated measures analysis of variance (ANOVA) was conducted with the factors electrode position (six levels), task (two levels), response requirement (two levels) and relatedness (two levels). ANOVA results were corrected for sphericity using the Greenhouse-Geisser epsilon where appropriate (uncorrected df are reported with the ϵ and corrected p values). Mean reaction times (only correct responses) and error rates in Go-trials were analyzed using repeated measures ANOVA with task (two levels) and relatedness (two levels) as within-subject factors.

Results

Behavioral data

In both tasks reactions were faster to related than to unrelated sounds (main effect of relatedness: $F(1,14) = 13.75, p = .002$), see table 1. However as indicated by a significant interaction with task (task*relatedness: $F(1,14) = 7.83, p = .014$) a statistically reliable relatedness effect could be observed in the semantic task only (main effect of relatedness in the semantic task: $F(1,14) = 16.11, p = .001$, in contrast to the physical task: $F(1,14) = 1.5, p = n. s.$). Aside from that participants reacted on average 100 ms faster in the physical than in the semantic task, as revealed in a main effect of task ($F(1,14) = 35.78, p = .0001$).

Insert Table 1 here

Error rates showed no overall difference between physical and semantic task. However, in the semantic task participants made more errors judging relatedness in

related than in unrelated trials (task*relatedness $F(1,14) = 7.87, p = .014$). Participants made a response in less than 1% of all NoGo-trials in both tasks.

ERPs

ERPs in both tasks were more negative to unrelated sounds than to related sounds (main effect of relatedness: $F(1,14) = 111.21, p = .0001$), see figure 1. Moreover, ERPs in NoGo-trials were more negative than in Go-trials (main effect of response requirement: $F(1,14) = 73.57, p = .0001$). The N400-effect was more pronounced in the semantic than in the physical task (task*relatedness: $F(1,14) = 21.91, p = .0004$) and more pronounced in Go- than in NoGo-trials (response requirement*relatedness: $F(1,14) = 12.41, p = .003$). The three-way-interaction task*response requirement*relatedness did not reach significance level ($F(1,14) = 3.18, p = n. s.$)

Insert Figure 1 here

Separate analysis by task and response requirement revealed that the N400-effect was present in all four conditions (physical task/Go: $F(1,14) = 24.48, p = .0002$; physical task/NoGo: $F(1,14) = 6.70, p = .021$; semantic task/Go $F(1,14) = 40.81, p = .0001$; semantic task/NoGo: $F(1,14) = 11.04, p = .0001$). However it was most pronounced in the semantic/Go condition and smallest in the physical task/NoGo condition, see figure 2.

Insert Figure 2 here

Discussion

The findings of an earlier study [19] suggested that sound meaning might be processed in tasks that do not require semantic analysis, thus implying obligatory conceptual processing. However, there is a possibility that semantic carry-over effects

may have influenced those results to some extent. This question was addressed in the present experiment. Additionally, NoGo-trials were included in both tasks to examine whether sounds would elicit an N400-effect even if completely irrelevant to task performance.

To begin with, in both tasks an N400-effect of similar time-course and electrode distribution for related compared to unrelated sounds was observed, replicating previous findings [18, 19]. Moreover behavioral priming was only present in Go-trials of the semantic task¹. As participants always completed the physical task *before* the semantic task, the N400-effects in Go- and NoGo-trials of the physical task can not be explained simply by a carry-over effect from the semantic to the physical task. More specifically, N400-effects for related compared to unrelated sounds were present in all four conditions, but were attenuated in the physical task and in NoGo-trials. Assuming that conceptual processing might be the result of a combination of automatic and controlled processes [17], N400-effects in the physical task - particularly in NoGo-trials - would be mainly due to automatic processes. In the semantic task the N400-effect was enhanced by controlled processes, with the largest effect in Go-trials of the semantic task, in which semantic fit was explicitly judged. In fact, such an explanation fits nicely to our data, as only in Go-trials of the semantic task, ERPs *and* behavioral data display significant conceptual priming. Moreover, N400-effects successively decrease from the semantic task/Go-condition to the physical task/NoGo-condition with intermediate amplitude-differences in the other two conditions.

Aside from the lack of controlled conceptual processing, a smaller N400-effect in NoGo-trials may also result from (the absence of) response-related processes. In NoGo-trials the N400-effect is superimposed on a N200 which has been frequently reported in studies employing a Go/NoGo-paradigm [12, 21]. Perhaps the N400-effect was also attenuated due to interference with the NoGo-N200, i.e. processes related to response inhibition or response conflict [7, 10]. In addition to this, participants may have ignored sounds completely in at least some NoGo-trials, which would also contribute to reduce the N400-effect. Most likely a combination of response-related and attentional influences may have diminished the N400-effect in NoGo-trials, in addition to the lack of explicit conceptual processing. Nevertheless a significant influence of relatedness on ERPs in NoGo-trials was observed, even during physical task completion.

In sum the present findings show that conceptual processing for environmental sounds may be obligatory, as it can be observed in a task that only requires processing of physical features of a stimulus. In this study it was even observed if processing of the sound was not required at all. The finding of an N400-effect for environmental sounds in the physical task and in NoGo-trials is in line with studies that claim automatic semantic processing for verbal stimuli [11, 20]. Thus automatic processing of meaning may not be limited to the verbal domain but may also play a role in the processing of nonverbal stimuli such as environmental sounds and may interact with controlled processes in a similar way.

Footnotes

1) N400-effects in the absence of behavioral priming have been previously reported [4, 11]. Also, priming may depend on the overall reaction time level, with longer reaction time differences for slower than for faster responses [15]. Like in our previous study, reaction times in the physical task were about 100 ms shorter than in the semantic task, perhaps leading to diminished behavioral priming effects in the physical task. Nevertheless, the pattern of results parallels the findings in the semantic task, at least on the descriptive level. Higher error rates in judging related compared to unrelated word-sound pairs may result from a greater ambiguity associated with environmental sounds compared to words [9]. It may be easier to recognize not-matching than matching word-sound pairs, simply because a specific sound may result from a variety of sources.

Acknowledgements

Requests for reprints should be addressed to Guido Orgs, Department of Experimental Psychology, Heinrich-Heine-University Düsseldorf, 40225 Düsseldorf, Germany. Electronic mail may be sent to: orgs@uni-duesseldorf.de. The authors thank Jennifer Paszek and Inga Schalinski for their help collecting the ERP data. This study was supported by the German Research Foundation (DFG).

References

- 1 Ballas, J.A., Common Factors in the Identification of an Assortment of Brief Everyday Sounds, *J Exp Psychol Human*, 19 (1993) 250-267.
- 2 Bentin, S., Kutas, M. and Hillyard, S.A., Electrophysiological Evidence for Task Effects on Semantic Priming in Auditory Word-Processing, *Psychophysiology*, 30 (1993) 161-169.
- 3 Bentin, S., McCarthy, G. and Wood, C.C., Event-Related Potentials, Lexical Decision and Semantic Priming, *Electroen Clin Neuro*, 60 (1985) 343-355.
- 4 Besson, M., Boaz, T., Fischler, I. and Raney, G., Effects of Automatic Associative Activation on Explicit and Implicit Memory Tests, *J Exp Psychol Learn*, 18 (1992) 89-105.
- 5 Chwilla, D.J., Brown, C.M. and Hagoort, P., The N400 as a Function of the Level of Processing, *Psychophysiology*, 32 (1995) 274-285.
- 6 Cummings, A., Ceponiene, R., Koyama, A., Saygin, A.P., Townsend, J. and Dick, F., Auditory semantic networks for words and natural sounds, *Brain Res*, 1115 (2006) 92-107.
- 7 Donkers, F.C.L. and van Boxtel, G.J.M., The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition, *Brain Cognition*, 56 (2004) 165-176.
- 8 Engelkamp, J., & Zimmer, H. D., *The human memory. A multimodal approach*, Hogrefe & Huber, Seattle, 1994.

- 9 Fabiani, M., Kazmerski, V.A., Cycowicz, Y.M. and Friedman, D., Naming norms for brief environmental sounds: Effects of age and dementia, *Psychophysiology*, 33 (1996) 462-475.
- 10 Falkenstein, M., Hoormann, J. and Hohnsbein, J., ERP components in Go Nogo tasks and their relation to inhibition, *Acta Psychol*, 101 (1999) 267-291.
- 11 Heil, M., Rolke, B. and Pecchinenda, A., Automatic semantic activation is no myth - Semantic context effects on the N400 in the letter-search task in the absence of response time effects, *Psychol Sci*, 15 (2004) 852-857.
- 12 Jodo, E. and Kayama, Y., Relation of a Negative Erp Component to Response-Inhibition in a Go/No-Go Task, *Electroen Clin Neuro*, 82 (1992) 477-482.
- 13 Kutas, M. and Van Petten, C., Psycholinguistics electrified. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics*, Academic Press, San Diego, 1994, pp. 83-143.
- 14 Macleod, C.M., Half a Century of Research on the Stroop Effect - an Integrative Review, *Psychol Bull*, 109 (1991) 163-203.
- 15 Mayr, S., Niedeggen, M., Buchner, A. and Orgs, G., The level of reaction time determines the ERP correlates of auditory negative priming, *Journal of Psychophysiology*, 20 (2006) 186-194.
- 16 McNamara, T.P., *Semantic Priming: perspectives from memory and word recognition*, Psychology Press, New York, 2005.

- 17 Neely, J., Semantic priming effects in visual word recognition: a selective review of current findings and theories. In D. Besner and G.W. Humphreys (Eds.), *Basic processes in reading. Visual word recognition*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1991, pp. 264-337.
- 18 Orgs, G., Lange, K., Dombrowski, J.H. and Heil, M., Conceptual priming for environmental sounds and words: an ERP study, *Brain Cognition*, 62 (2006) 267-72.
- 19 Orgs, G., Lange, K., Dombrowski, J.-H. and Heil, M., Is conceptual priming for environmental sounds obligatory?, *Int J Psychophysiol*, 65 (2007) 162-166.
- 20 Perrin, F. and Garcia-Larrea, L., Modulation of the N400 potential during auditory phonological/semantic interaction, *Cognitive Brain Res*, 17 (2003) 36-47.
- 21 Pfefferbaum, A., Ford, J.M., Weller, B.J. and Kopell, B.S., Erps to Response Production and Inhibition, *Electroen Clin Neuro*, 60 (1985) 423-434.
- 22 Van Petten, C. and Rheinfelder, H., Conceptual relationships between spoken words and environmental sounds: event-related brain potential measures, *Neuropsychologia*, 33 (1995) 485-508.

Table 1

Table 1: Behavioral results in Go-trials

Task	Reaction times (in ms)		Error rates (in %)	
	physical	semantic	physical	semantic
related	504 (45.4)	600 (48.2)	5.2 (2.1)	7.0 (1.5)
unrelated	512 (44.9)	638 (47.8)	4.6 (1.9)	2.8 (0.7)

Table 1: Mean reaction times and error rates in the semantic and the physical task, standard errors are written in parentheses. Error rates in NoGo-trials were all below 1%.

Figure 1

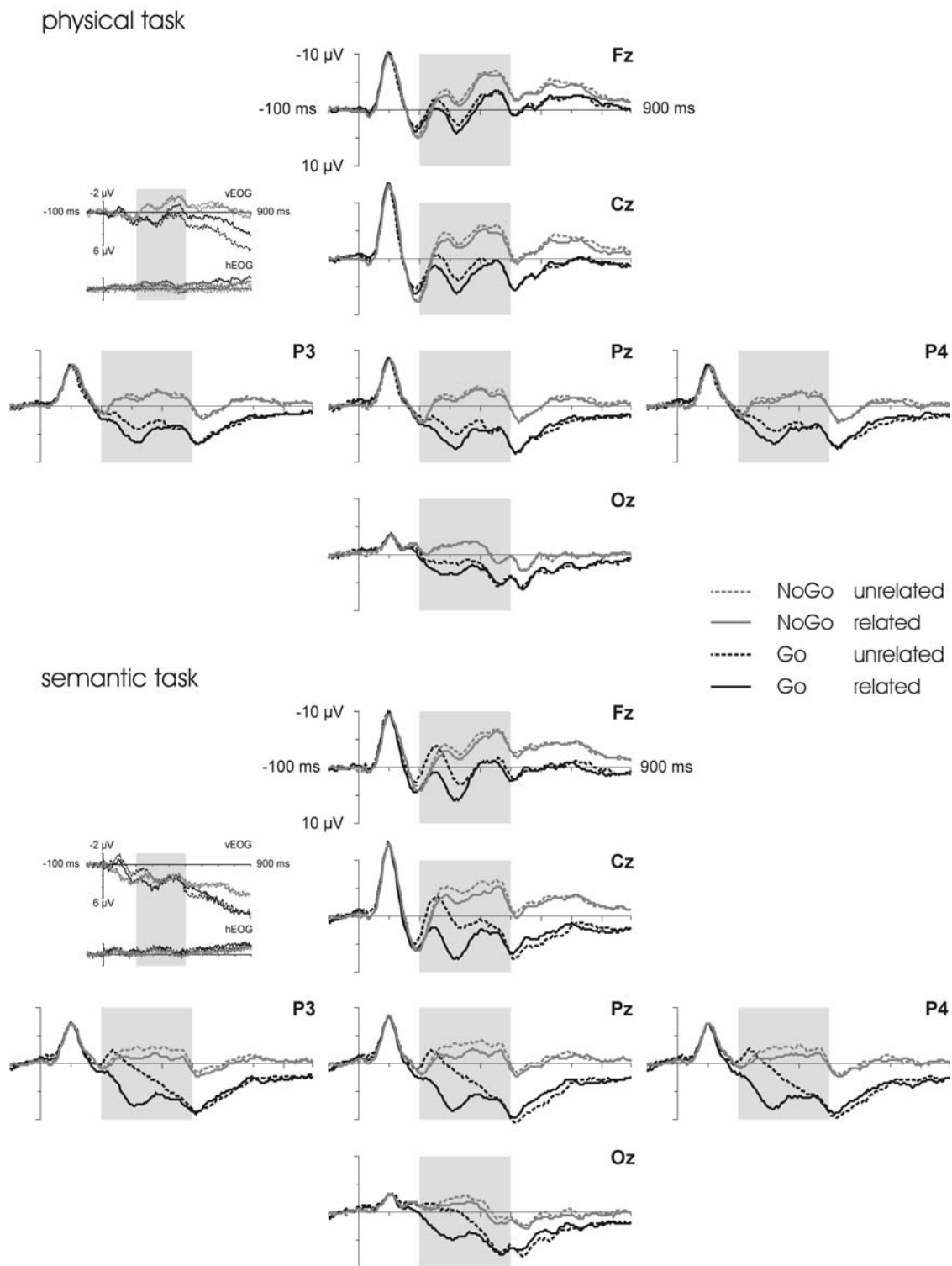


Figure 1: Grand average ERPs to sounds in the physical and the semantic task for related (solid lines) and unrelated (dotted lines) word-sound pairs. ERPs in Go-trials are denoted in black lines and ERPs in NoGo-trials are denoted in grey lines. The interval 200-500 ms post-stimulus is highlighted, negativity is up.

Figure 2

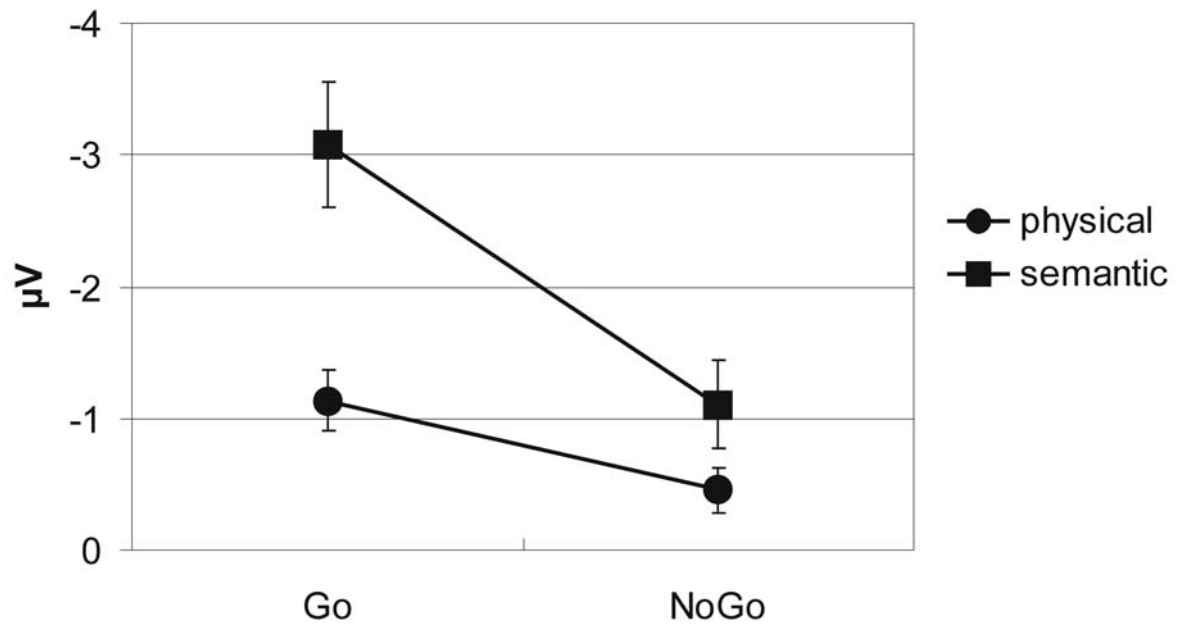


Figure 2: N400-effects (unrelated-related) in all conditions compared. Mean amplitude difference (and standard errors) between 200-500 ms after sound onset across all electrodes between unrelated and related trials in all four experimental conditions.

8. Danksagung

Zuerst möchte ich Prof. Dr. Martin Heil danken, dass er diese Promotion ermöglicht und mich in allen inhaltlichen und methodischen Fragen unterstützt hat. Ich danke auch Frau PD Dr. Jansen-Osmann für die Übernahme der Zweitbegutachtung. Sehr geholfen haben mir auch Jennifer Paszek und Inga Schalinski bei der Erhebung der EEG-Daten. Besonderer Dank gilt auch meiner Bürogenossin Kristina Küper, die mich immer erfolgreich von allzu blumiger Ausdrucksweise beim Schreiben der Artikel abhalten konnte und mich auch in der Endphase des Verfassens dieser Arbeit immer geduldig ertragen hat. Weiterhin danken möchte ich Jan-Henryk Dombrowski und Dr. Kathrin Lange für die großartige Zusammenarbeit während der letzten drei Jahre.

9. Erklärung

Die hier vorgelegte Dissertation habe ich eigenständig und ohne unerlaubte Hilfsmittel angefertigt. Die Dissertation wurde in der vorliegenden oder in ähnlicher Form bei keiner anderen Institution eingereicht. Ich habe bisher keine erfolglosen Promotionsversuche unternommen.

Guido Orgs