

Semantische Aktivierung in Abhängigkeit von der Wortverarbeitungstiefe

Inauguraldissertation

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

vorgelegt von

Kristina Isabel Küper

geboren in Neuss

November 2008

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

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

Referent: Prof. Dr. Martin Heil
Korreferent: Prof. Dr. Axel Buchner

Tag der mündlichen Prüfung: 12.12.2008

Zusammenfassung

Semantische Aktivierung galt lange Zeit als automatischer Prozess, der schnell, unwillkürlich, unbewusst und ohne Aufmerksamkeits-Ressourcen zu belasten, abläuft (Neely & Kahan, 2001). Diese Definition stützt sich auf zahlreiche Forschungsergebnisse zum semantischen Bahnungs- und dem Stroop-Paradigma. Als semantischen Bahnungseffekt bezeichnet man die verbesserte Verarbeitung von Probewörtern, denen ein assoziiertes Primewort vorangeht. Dieser Effekt tritt auch dann auf, wenn nur eine kurze Stimulus Onset Asynchronie (SOA) zwischen Prime und Probe liegt (Neely, 1976) oder wenn sich die Probanden der assoziativen Prime-Probe Beziehung (Fischler, 1977) oder sogar des bloßen Vorhandenseins des Primes (Draine & Greenwald, 1998) nicht bewusst sind. Ähnlich soll der Stroop-Effekt, d.h. eine im Vergleich zu neutralen Worten verschlechterte Farbbenennungsleistung für inkongruente Farbworte (z.B. das Wort „rot“ in grüner Farbe gedruckt) auf die obligatorische und unwillkürliche semantische Analyse des Wortes zurückgehen (Klein, 1964). Zweifel an der Definition semantischer Aktivierung als automatischer Prozess kamen allerdings auf, als gezeigt werden konnte, dass beide Effekte durch Manipulationen der Verarbeitungstiefe, die Aufmerksamkeit auf einen Einzelbuchstaben des Wortes lenken, eliminiert werden (Friedrich et al., 1991; Besner et al., 1997).

Die vorliegende Arbeit umfasst drei Experimentalreihen, die demonstrieren, dass das Ausbleiben dieser Verhaltenseffekte nicht mit dem Ausbleiben der zugrundeliegenden semantischen Aktivierung gleichgesetzt werden kann. Die Experimente 1a bis 1c zeigten, dass eine oberflächliche Verarbeitung des Primes im Rahmen einer Buchstabensuchaufgabe den semantischen Bahnungseffekt in lexikalischen Entscheidungszeiten für den Probe eliminierte. In Benennungszeiten für den Probe, die weniger durch kontrollierte Verarbeitungsprozesse moduliert werden, blieb der Effekt allerdings erhalten. In ähnlicher Weise konnte in den Experimenten 2a und 2b das Fehlen von Bahnungseffekten in lexikalischen Entscheidungszeiten repliziert werden. Gleichzeitig fanden sich aber unabhängig von der Verarbeitungstiefe und auch bei einem sehr kurzem Prime-Probe SOA erhaltene semantische Bahnungseffekte für die Modulation der N400, dem elektrophysiologischen Korrelat semantischen Zugriffs. Experiment 3 konnte schließlich zeigen, dass Einzelbuchstaben-Manipulationen keinen Einfluss auf die Verarbeitung inkongruenter Stroop-Reize haben, sondern stattdessen die Verarbeitung neutraler Reize verlangsamen. Die Verminderung des Stroop-Effekts ist deshalb nicht auf das Ausbleiben semantischer Aktivierung, sondern auf eine Verlangsamung der Farbverarbeitung zurückzuführen.

In allen Experimenten dieser Arbeit finden sich somit eindeutige Belege dafür, dass es trotz oberflächlicher Wortverarbeitung zur Aktivierung der Wortbedeutung kommt. Zudem wird diese semantische Aktivierung in einem Verhaltensmaß offensichtlich, das weniger stark durch kontrollierte Prozesse moduliert wird (Experimente 1a und 1b), und erweist sich außerdem als schnell (Experiment 2b) und unwillkürlich (Experiment 3). Die festgestellte semantische Aktivierung genügt somit den Anforderungen an einen automatischen Prozess, wie sie von Neely und Kahan (2001) postuliert werden.

Abstract

Semantic activation, i.e. access to word meaning, has long been considered an automatic process in that it is fast-acting, capacity-free and occurs without intention and conscious awareness (Neely & Kahan, 2001). This definition is supported by a large body of research from the semantic priming and the Stroop paradigm. The semantic priming effect, i.e. faster and more accurate processing of a probe word that is preceded by a related prime word, occurs at very short stimulus onset asynchronies (SOAs) between prime and probe (Neely, 1976) and when subjects are unaware of the associative prime-probe relationship (Fischler, 1977) or even of the mere presence of the prime (Draine & Greenwald, 1998). Similarly the Stroop-Effect, i.e. slower and more error-prone color-naming for incongruent color words (e.g. the word “red” printed in green) as compared to neutral words, is thought to be due to the obligatory and involuntary semantic analysis of the word stimulus (Klein, 1964). Yet both effects have been shown to be absent when depth of word processing was manipulated by focusing attention on a single letter within the word (Friedrich et al., 1991; Besner et al., 1997), thus calling the automaticity of semantic activation into question.

In the present thesis three series of experiments are described which illustrate that the absence of these overt behavioral effects is not tantamount to the absence of the underlying semantic activation. Experiments 1a to 1c demonstrated that a shallow prime processing task such as letter search reduced the semantic priming effect only in probe lexical decision times but left it unaffected in probe naming times, which are modulated to a lesser extent by controlled processing strategies. In Experiments 2a and 2b, lexical decision priming effects were even eliminated under shallow processing conditions. The modulation of the N400, the event-related potential correlate of semantic access, however, revealed preserved semantic priming irrespective of depth of prime processing and at a very short SOA. Finally, Experiment 3 demonstrated that single letter manipulations lengthened reaction times to neutral Stroop stimuli but did not affect the processing of incongruent stimuli. The reduction of the Stroop effect did thus not reflect an impediment of semantic access but was due to a slowing of color processing.

The present thesis hence presents conclusive evidence that shallow word processing does not impede semantic activation. Specifically, semantic access becomes apparent in a behavioral measure for which the influence of controlled processes is reduced (Experiments 1a and 1b)

and is shown to be fast-acting (Experiment 2b) and involuntary (Experiment 3) thus meeting the criteria of an automatic process as postulated by Neely and Kahan (2001).

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Einleitung	8
1.1	Der semantische Bahnungseffekt	8
1.2	Der Einfluss von Verarbeitungstiefe auf semantische Bahnung	10
1.3	Der Stroop-Effekt	12
1.4	Der Einfluss von Verarbeitungstiefe auf den Stroop-Effekt	13
1.5	Zentrale Fragestellungen	15
2	Experimente	17
2.1	Experiment 1: Bahnungseffekte in Abhängigkeit von der Probe-Aufgabe	17
2.1.1	Experiment 1a: Benennungsaufgabe bei festem SOA	17
2.1.2	Experiment 1b: Benennungsaufgabe bei flexiblem SOA	18
2.1.3	Experiment 1c: Lexikalische Entscheidungsaufgabe	19
2.2	Experiment 2: EKP-Korrelate semantischer Bahnung für zwei SOA	21
2.2.1	Experiment 2a: Tiefe Prime-Verarbeitung	21
2.2.2	Experiment 2b: Oberflächliche Prime-Verarbeitung	23
2.3	Experiment 3: Verarbeitungstiefe-Effekte für zwei Arten von Stroop-Reizen	25
3	Allgemeine Diskussion	27
3.1	Ausblick	32
3.2	Zusammenfassende Thesen	33
4	Literatur	34
5	Einzelarbeiten	40

1 Allgemeine Einleitung

Ziel des Leseprozesses ist die Erfassung von Wortbedeutungen. In der Kognitiven Psychologie ging man lange Zeit davon aus, dass diese semantische Aktivierung bei geübten Lesern automatisiert erfolgt (Neely, 1977), dass sie also schnell, unwillkürlich, unbewusst und ohne Ressourcen zu erschöpfen abläuft (Neely & Kahan, 2001). Modelle zur visuellen Wortverarbeitung nehmen an, dass Lesen ein über mehrere hierarchisch angeordnete Verarbeitungsebenen ablaufender Prozess ist. Die für diese Arbeit relevanten Ergebnisse zur Wortverarbeitung lassen sich gut in das ebenso konzipierte Netzwerkmodell des semantischen Gedächtnisses (Collins & Loftus, 1975) einordnen (siehe McClelland & Rumelhart, 1981, für ein alternatives konnektionistisches Verarbeitungsmodell). Collins und Loftus (1975) unterscheiden ein lexikalisches Netzwerk, in dem Wortrepräsentationen aufgrund von phonologischer Ähnlichkeit miteinander verbunden sind, von einem übergeordneten semantischen Netzwerk, in dem Konzeptrepräsentationen anhand semantischer Ähnlichkeit organisiert sind. Beim Lesen eines Wortes werden durch visuelle Merkmalsanalyse die Einzelbuchstaben des Wortes identifiziert, woraufhin zunächst die entsprechende lexikalische Repräsentation aktiviert wird, die dann ihrerseits den zugehörigen Eintrag im semantischen Gedächtnis aktiviert. Innerhalb des semantischen Netzwerkes breitet sich die Aktivierung von diesem Konzept anschließend automatisch zu semantisch assoziierten Konzepten aus. Diese Voraktivierung verwandter Konzepte erleichtert beispielsweise das Lesen von Sätzen und Texten, in denen Worte per Definition zu den vorangegangenen Worten in Beziehung stehen. Für die Untersuchung semantischer Wortverarbeitung haben sich der semantische Bahnungseffekt (siehe Neely, 1991, für eine Übersichtsarbeit) und der Stroop-Effekt (für eine Übersichtsarbeit siehe MacLeod, 1991) als die zentralen Paradigmen erwiesen.

1.1 Der semantische Bahnungseffekt

Im Einzelwort-Bahnungsparadigma werden den Probanden zwei aufeinanderfolgende Worte, der Prime und der Probe, dargeboten. Aufgabe der Probanden ist es dabei, den Prime zu lesen oder als belebt oder unbelebt (semantische Entscheidung) bzw. Wort oder Nichtwort (lexikalische Entscheidung) zu klassifizieren. Im Anschluss wird für den Probe ebenfalls eine lexikalische Entscheidung getroffen oder er wird benannt. Im Vergleich zu einem neutralen oder nicht assoziierten Reiz ergibt sich dabei für ein mit dem vorangehenden Prime assoziiertes Probewort ein Verarbeitungsvorteil, der sich in schnelleren Reaktionszeiten und einer ver-

minderten Fehlerrate zeigt. Die Assoziationen zwischen Prime und Probe können dabei mehr oder weniger komplex sein. Auf den unterschiedlichen Ebenen der Wortverarbeitung können so unter anderem morphologische Bahnung (Drews & Zwitserlood, 1995), Wiederholungsbahnung (Rugg, 1985) und semantische Bahnung (Neely, 1991) unterschieden werden.

Der für diese Arbeit relevante semantische Bahnungseffekt wird nicht nur in Verhaltensmaßen offensichtlich. Wenn zusätzlich das Elektroenzephalogramm (EEG) abgeleitet wird, findet sich in den Ereigniskorrelierten Potentialen (EKP) zum Zeitpunkt der Probe-Präsentation der so genannte N400-Bahnungseffekt (Bentin, McCarthy & Wood, 1985). Die N400 bezeichnet eine negative EKP-Komponente mit einem zentro-parietalen Maximum etwa 400 ms nach Beginn der Stimuluspräsentation (Kutas & Hillyard, 1980). Ihre Ausprägung ist vom semantischen Kontext dahingehend abhängig, dass nicht assoziierte Probewörter eine deutlich größere N400 erzeugen als assoziierte Probewörter.

Semantische Bahnung ergibt sich laut Neely und Keefes (1989) Drei-Prozess-Theorie aus der Interaktion der von Collins und Loftus (1975) postulierten automatischen semantischen Aktivierungsausbreitung mit zwei kognitiv kontrollierten Prozessen, erwartungsbasierter Bahnung und dem retrospektiven semantischen Matching-Mechanismus. Erwartungsbasierte Bahnung bedeutet, dass Probanden auf Basis des Primes Erwartungen bezüglich potentieller nachfolgender Probewörter entwickeln (Posner & Snyder, 1975b; Becker, 1980). Auf einen Probe, der Teil dieses Erwartungs-Sets ist, kann schneller reagiert werden, weil die entsprechende mentale Repräsentation bereits voraktiviert ist. Semantisches Matching kommt nur dann zum Tragen, wenn für den Probe eine lexikalische Entscheidung getroffen werden soll. Nach der Aktivierung der lexikalischen Repräsentation des Probes, aber vor der lexikalischen Entscheidung, werden Prime und Probe auf eine semantische Beziehung hin geprüft (Neely & Keefe, 1989). Wenn diese vorhanden ist, kann sicher angenommen werden, dass es sich bei dem Probe um ein Wort handelt und die lexikalische Entscheidung kann schneller getroffen werden. Da es sich bei erwartungsbasierter Bahnung und semantischem Matching um willentlich kontrollierte Strategien handelt, die Ressourcen fordern, sollen sie erst ab einer Prime-Probe Stimulus Onset Asynchronie (SOA) von etwa 400 ms wirksam werden (Neely, 1977). Sie kommen zudem verstärkt zum Einsatz, wenn der Zusammenhang zwischen Prime und Probe besonders salient gemacht wird, zum Beispiel durch einen hohen Anteil assoziierter Durchgänge. Semantische Aktivierungsausbreitung soll dagegen unbewusst und unwillkürlich erfolgen und somit einen automatischen Prozess darstellen (Posner & Snyder, 1975a). Deshalb wird sie als alleinige Ursache von Bahnungseffekten bei kurzem SOA (De Groot, Thomassen

& Hudson, 1986; Neely, 1976), einem geringen Anteil assoziierter Durchgänge (Fischler, 1977) und bei Maskierung des Primes (Draine & Greenwald, 1998; Hirshman & Durante, 1992) angesehen. Diese Ergebnisse wurden gleichzeitig dahingehend gedeutet, dass auch die semantische Aktivierung des Ursprungskonzepts, von dem die Aktivierungsausbreitung ausgeht, obligatorisch erfolgt.

1.2 Der Einfluss von Verarbeitungstiefe auf semantische Bahnung

Zweifel an der Definition von semantischer Aktivierung als automatischem Prozess kamen auf, als gezeigt werden konnte, dass sie offenbar von der Wortverarbeitungstiefe abhängig ist. So bleibt der semantische Bahnungseffekt in lexikalischen Entscheidungszeiten aus oder ist zumindest stark vermindert, wenn das Primewort nach einem Zielbuchstaben durchsucht werden soll, der zeitgleich über jedem Buchstaben des Primes dargeboten wird (siehe Maxfield, 1997, für eine Übersichtsarbeit). Die Tatsache, dass sowohl Wiederholungs- (Friedrich, Henik & Tzelgov, 1991) als auch morphologische Bahnungseffekte (Stolz & Besner, 1998) nach Buchstabensuche erhalten bleiben, entkräftete den Einwand, das Fehlen des Bahnungseffekts ginge lediglich auf eine unzureichende visuelle Merkmalsintegration zurück (Neely & Kahan, 2001). Allerdings führt eine oberflächliche Verarbeitung des Primes nicht zwangsläufig zum Ausbleiben des Bahnungseffekts, so bleibt semantische Bahnung beispielsweise erhalten, wenn die Druckfarbe des Primes benannt werden soll (Chiappe, Smith & Besner, 1996). Entscheidend ist also offenbar, dass die oberflächliche Stimulusanalyse innerhalb der Wortverarbeitungs-Domäne durchgeführt wird und Ressourcen des Wortverarbeitungs-Systems belastet werden. Auf Basis des Interaktiven Aktivierungsmodells von McClelland und Rumelhart (1981) stellten Stolz und Besner (1998; 1999) daraufhin die Theorie der semantischen Aktivierungsblockade auf. Im Interaktiven Aktivierungsmodell sind Verbindungen zwischen Repräsentationen innerhalb der Wortverarbeitungsebenen inhibitorisch, d.h. eine aktivierte Repräsentation verringert das Aktivierungsniveau konkurrierender Repräsentationen auf der gleichen Ebene. Verbindungen zwischen den hierarchisch angeordneten Ebenen sollen dagegen exzitatorisch und zudem bidirektional sein, so dass neben bottom-up auch top-down Prozesse eine entscheidende Rolle bei der Wortverarbeitung spielen. So erklärt sich beispielsweise der Wortüberlegenheitseffekt, der die verbesserte Erkennensleistung für einen Buchstaben bezeichnet, der innerhalb eines Wortes dargeboten wird (Reicher, 1969). Die Annahme von inhibitorischen Verknüpfungen innerhalb der Verarbeitungsebenen macht es schwierig, semantische Bahnung im Rahmen des Interaktiven Aktivierungsmodells zu erklären. Stolz und Bes-

ner (1996, Stolz & Besner, 1998) stellten deshalb die Zusatzannahme auf, dass ein lexikalischer Eintrag neben dem ihm entsprechenden semantischen Konzept auch dazu assoziierte Konzepte aktiviert. Deren Aktivierung wird durch Inhibition innerhalb der semantischen Ebene zudem nicht auf das Nullniveau herabgesenkt, so dass top-down auch die lexikalischen Repräsentationen der assoziierten Konzepte aktiviert werden. Im Fall der Buchstabensuchaufgabe wird die Aktivierung auf semantischer Ebene blockiert, um begrenzte Ressourcen auf die orthographische Ebene zu fokussieren. Die Autoren setzen das Fehlen des semantischen Bahnungseffekts also nicht mit dem Ausbleiben semantischer Aktivierungsausbreitung gleich, sondern nehmen vielmehr an, dass es erst gar nicht zu einer Aktivierung des semantischen Prime-Konzepts kommt. Semantische Aktivierung wäre somit sowohl willkürlich steuerbar als auch abhängig von begrenzten Ressourcen und würde damit nicht den Anforderungen an einen automatischen Prozesses gerecht (Neely & Kahan, 2001). Zu einem ähnlichen Schluss kommt auch ein alternativer Erklärungsansatz (Smith, Bentin & Spalek, 2001), nach dem Automatisierung ein kontinuierlicher Prozess ist (siehe auch, Hoffman & MacMillan, 1985; Kahnemann & Chajczyk, 1983), der nie vollständig unabhängig von Aufmerksamkeitsressourcen ist. Für das Auftreten semantischer Aktivierung ist demnach ausschlaggebend, dass zumindest ein Teil der Aufmerksamkeit auf semantische Reiz Aspekte gerichtet wird, was im Rahmen der Buchstabensuchaufgabe nicht gegeben sein muss, da hier orthographische Reizeigenschaften im Vordergrund stehen. Im Gegensatz zur Theorie von Stolz und Besner (1998; 1999) kann dieser Ansatz auch die bloße Verminderung von Bahnungseffekten erklären und setzt nicht voraus, dass diese durch Buchstabensuche zwangsläufig eliminiert werden.

Beide Erklärungsansätze basieren jedoch auf der Annahme, dass das Fehlen von Bahnungseffekten in lexikalischen Entscheidungszeiten mit dem Ausbleiben der zugrundeliegenden semantischen Verarbeitungsprozesse gleichgesetzt werden kann. Gegen diese Schlussfolgerung sprechen Untersuchungen, die sowohl in alternativen Verhaltensmaßen als auch in EKP-Indizes Hinweise auf erhaltene semantische Aktivierung trotz Buchstabensuche fanden. So konnten Mari-Beffa und Kollegen (Mari-Beffa, Fuentes, Catena & Houghton, 2000; Mari-Beffa, Houghton, Estevez & Fuentes, 2000) zeigen, dass ein zusammen mit dem zu durchsuchenden Wortstimulus präsentierter Distraktor soweit semantisch verarbeitet wurde, dass sich für Probes, die mit dem Distraktor assoziiert waren, negative Bahnungseffekte, d.h. verlangsamte Reaktionszeiten, ergaben. Allerdings ist unklar, inwieweit automatische Wortverarbeitungsprozesse ursächlich waren, da das Hinzufügen weiterer Wortreize eine grundlegende Modifizierung des Paradigmas darstellt, die möglicherweise den Einsatz kontrollierter Bahnungsprozesse verstärkt.

In EEG-Untersuchungen, die das Ausbleiben von Bahnungseffekten auf Verhaltensebene replizieren konnten, wurde semantische Aktivierung in signifikanten N400-Bahnungseffekten während der Probe-Präsentation offensichtlich (Heil, Rolke & Pecchinenda, 2004; Dombrowski & Heil, 2005). Während davon ausgegangen werden kann, dass die N400 durch kontrollierte semantische Bahnungsprozesse moduliert wird (Bentin et al., 1985; Rugg, 1987), ist noch umstritten, inwieweit automatische Bahnungsprozesse allein ausreichend für die Generierung des N400-Bahnungseffekts sind. Obwohl es inzwischen Belege dafür gibt, dass der N400-Effekt auch rein automatische Prozesse widerspiegeln kann (Deacon, Hewitt, Yang & Nagata, 2000; Kiefer & Spitzer, 2000), ist also zumindest denkbar, dass der von Heil und Kollegen berichtete N400-Bahnungseffekt auf den Einfluss erwartungsbasierter Bahnung oder semantischer Matchingprozesse zurückgeht.

Die Differenzierung der Einflüsse automatischer und kontrollierter Prozesse ist in Untersuchungen zur Buchstabensuchaufgabe generell problematisch. Da eine Reaktion auf den Prime notwendig ist, entsteht zwangsläufig ein relativ langes Prime-Probe SOA. Da automatische Bahnungsprozesse allerdings schnell zerfallen (Neely, 1977), sind sie nach diesem Zeitraum möglicherweise bereits nicht mehr messbar (Neely & Kahan, 2001), womit das Ausbleiben des Bahnungseffekts keine Rückschlüsse auf Vorhandensein oder Abwesenheit automatischer Prozesse erlauben würde. Vielmehr könnten automatische Prozesse aufgetreten, aber bereits wieder abgeklungen sein (vergleiche Henik, Friedrich, Tzelgov & Tramer, 1994) und das Fehlen des Bahnungseffekts auf den infolge der Buchstabensuche reduzierten Einsatz kontrollierter Bahnungsmechanismen zurückgehen. Aus dieser Perspektive heraus erscheint eine Untersuchung vergleichbarer Verarbeitungstiefen-Effekte im Stroop-Paradigma sinnvoll, in dem semantische Aktivierung möglicherweise unmittelbarer abgebildet wird.

1.3 Der Stroop-Effekt

Im Stroop-Paradigma soll die Druckfarbe von Worten oder Wort-ähnlichen Reizen benannt werden (Stroop, 1935). Wenn der Stimulus ein Farbwort ist, dessen Bedeutung mit der Druckfarbe inkongruent ist (zum Beispiel das Wort „grün“ in roter Farbe gedruckt), ergeben sich gegenüber neutralen Reizen stark verlängerte Reaktionszeiten und höhere Fehlerraten, während auf kongruente Farbworte (das Wort „grün“ in grüner Farbe gedruckt), schneller und mit weniger Fehlern reagiert werden kann. Der Stroop-Effekt bezeichnet die Differenz zwischen den Reaktionszeiten bzw. Fehlerraten für inkongruente und denen für neutrale bzw. kongruente Reize. Ähnlich wie der Flanker-Effekt (Eriksen & Eriksen, 1974) könnte der Stroop-Effekt,

zumindest wenn die Wortfarbe benannt werden muss, lediglich einen durch die Aufgabenstellung induzierten Reaktionskonflikt darstellen (Neely & Kahan, 2001). So ist vorstellbar, dass lediglich die artikulatorischen Codes der Farbworte aktiviert werden, die das Benennen der Druckfarbe stören, weil sie Teil des gleichen Antwort-Sets sind. Allerdings erzeugen auch mit Farbe semantisch stark assoziierte Worte (wie zum Beispiel „Gras“ oder „Zitrone“) Stroop-Interferenz, so dass angenommen werden muss, dass zumindest ein Teil dieser Interferenz auf die semantische Aktivierung durch das Wort zurückgeht (Klein, 1964; Darymple-Alford, 1972).

1.4 Der Einfluss von Verarbeitungstiefe auf den Stroop-Effekt

Für die Stroop-Aufgabe soll das Einfärben eines Einzelbuchstabens eine Entsprechung zur Buchstabensuchaufgabe im Bahnungsparadigma darstellen. Tatsächlich konnten Besner, Stolz und Boutilier (1997) zeigen, dass der Stroop-Effekt nach dieser Manipulation ausblieb, was die Autoren, wie das Ausbleiben des Bahnungseffekts nach Buchstabensuche, mit einer Blockade semantischer Aktivierung erklärten.

Allerdings lassen sich verschiedene methodische Aspekte dieser Untersuchung kritisieren. So wurden beispielsweise als Baseline Nichtworte verwendet, die orthographisch Farbworten ähnelten und die somit möglicherweise ihrerseits Stroop-Interferenz erzeugten (vergleiche Marmurek, Proctor & Javor, 2006). Tatsächlich schien sich in nachfolgenden Studien das Ausbleiben des Effekts häufig nur replizieren zu lassen, wenn eine vergleichbare Baseline verwendet (Catena, Fuentes & Tudela, 2002) oder der Einzelbuchstabe zusätzlich mit räumlichen Hinweisreizen hervorgehoben wurde (Besner, 2001; Besner & Stolz, 1999b). Die Autoren deuteten die Effektivität von räumlichen Hinweisreizen als weiteren Beleg für die Abhängigkeit semantischer Aktivierung von Aufmerksamkeitsressourcen. So konnten bereits Johnston und McClelland (1974) zeigen, dass der Wortüberlegenheitseffekt (Reicher, 1969) ausblieb, wenn der Zielbuchstabe mit räumlichen Hinweisreizen versehen wurde. Wenn innerhalb einfarbiger Stroop-Wörter ein Einzelbuchstabe derart hervorgehoben wurde, war der Stroop-Effekt allerdings nur vermindert, was Besner und Stolz (1999b) darauf zurückführten, dass die Hinweisreize von den Probanden nicht immer genutzt wurden.

Ein weiterer Kritikpunkt an Einzelbuchstaben-Manipulationen war, dass das Hervorheben eines Einzelbuchstabens den perzeptuellen Fokus zu diesem hin und weg vom Gesamtwort verschiebe (Kahneman & Henik, 1981). Damit könnte das Ausbleiben des Stroop-Effekts auf

eine unzureichende visuelle Merkmalsintegration zurückgehen (Neely & Kahan, 2001). Allerdings zeigen negative (Mari-Beffa, Estevez & Danziger, 2000; Besner, 2001) und positive (Catena et al., 2002) Bahnungseffekte im Einzelbuchstaben-Stroop-Paradigma, dass das Wort als solches verarbeitet wurde, auch wenn diese Verarbeitung möglicherweise verzögert und damit nicht automatisch erfolgte (Besner, 2001).

Endgültige Schlussfolgerungen zu semantischen Prozessen lassen sich auf der Basis der bereits erwähnten Studien nur schwer ziehen, da manuelle Reaktionen untersucht wurden, für die der Stroop-Effekt vermindert ist und in geringerem Maße durch die Wortbedeutung moduliert wird als es bei vokalen Antworten der Fall ist (Sharma & McKenna, 1998). Manwell, Roberts und Besner (2004) fanden für vokale Antworten lediglich einen verminderten Stroop-Effekt, wenn nur ein Einzelbuchstabe eingefärbt und mit Hinweisreizen versehen wurde. Gleichzeitig wurde zwar der rein semantische Stroop-Effekt für farb-assoziierte Wörter vollständig eliminiert, die Autoren räumten aber Schwierigkeiten bei der Replizierung dieses Phänomens ein und schlugen deshalb eine Alternativerklärung zur Theorie der semantischen Aktivierungsblockade vor. Demnach soll das Hervorheben eines Einzelbuchstabens die Selektion des handlungsleitenden Zielreizes erleichtern und so den Stroop-Effekt reduzieren. Ähnlich wie nicht integrierte Stroop-Reize (MacLeod, 1998), bei denen Wort und Farbe räumlich voneinander getrennt dargeboten werden, sollen Einzelbuchstaben-Manipulationen die perzeptuelle Trennung der miteinander interferierenden Stimulusdimension des Stroop-Reizes erleichtern. Monahan (2001) konnte allerdings zeigen, dass das Hervorheben eines Einzelbuchstabens sowohl für neutrale als auch für inkongruente Reize die Reaktionszeiten verlängerte. Zudem verlangsamte das Einfärben eines Einzelelements auch die Verarbeitung von neutralen nonverbalen Reizen. Diese Ergebnisse sprechen gegen eine erleichterte Zielselektion und sind auch nicht mit der Theorie der semantischen Aktivierungsblockade vereinbar, nach der für inkongruente Reize eine beschleunigte Reaktion zu erwarten wäre. Vielmehr geht Monahan (2001) davon aus, dass durch das Einfärben nur eines Buchstabens die Farbverarbeitung erschwert wird. Unter der Annahme, dass Farb- und Wortverarbeitung parallel ablaufen, sollen die Reaktionszeiten für neutrale Reize davon stärker betroffen sein, da für inkongruente Reize der Effekt erschwelter Farbverarbeitung durch den Interferenz-Effekt der Wortbedeutung überdeckt wird.

1.5 Zentrale Fragestellungen

Der Zugriff auf die Wortbedeutung galt lange Zeit als eine obligatorische Konsequenz visueller Wortverarbeitung. Zweifel an dieser Definition von semantischer Aktivierung als automatischem Prozess kamen auf, als gezeigt werden konnte, dass sowohl der semantische Bahnungseffekt als auch der Stroop-Effekt durch Manipulationen der Wortverarbeitungstiefe reduziert oder sogar eliminiert werden können. Allerdings ist fraglich, inwieweit das Fehlen von Verhaltenseffekten tatsächlich mit dem Ausbleiben der zugrundeliegenden Prozesse gleichgesetzt werden kann.

Mit wenigen Ausnahmen (siehe zum Beispiel Friedrich, 1993) haben sich Studien zum Einfluss von Buchstabensuche auf den Bahnungseffekt bislang auf die Untersuchung von lexikalischen Entscheidungszeiten für den Probe konzentriert. Dies ist insofern verwunderlich als automatische Wortverarbeitungsprozesse untersucht werden sollen, die laut Neely (1991) besser in Probe-Benennungslatenzen abgebildet werden. So kommt der semantische Matching-Mechanismus bei Benennen des Probes nicht zum Tragen (Keefe & Neely, 1990; Neely, Keefe & Ross, 1989): Die Entdeckung einer semantischen Beziehung zwischen Prime und Probe kann zwar eine lexikalische Entscheidung beschleunigen, gibt aber keine Anhaltspunkte dafür, wie der Probe auszusprechen ist. Dementsprechend sollen Bahnungseffekte in Benennungslatenzen lediglich automatische semantische Aktivierungsausbreitung und erwartungsbasierte Bahnungsprozesse widerspiegeln. In einer ersten Experimentalreihe (Experimente 1a, 1b und 1c) wurde deswegen untersucht, welchen Einfluss Buchstabensuche auf den semantischen Bahnungseffekt in Benennungslatenzen hat.

Neben der Verwendung alternativer Verhaltensmaße ist auch die Untersuchung von EKP-Korrelaten semantischer Bahnung in Abhängigkeit von der Verarbeitungstiefe sinnvoll. So fanden Heil und Kollegen (2004; Dombrowski & Heil, 2005) nach oberflächlicher Verarbeitung des Primes zwar keine signifikanten Verhaltenseffekte, dafür zeigte sich semantische Bahnung aber in der Modulation der N400. Wie generell in Untersuchungen zur Buchstabensuchaufgabe wurde allerdings ein langes SOA verwendet, nach dem automatische Bahnungseffekte möglicherweise nicht mehr messbar sind. Henik und Kollegen (1994) scheinen durch eine Modifikation des Bahnungsparadigmas eine Lösung für das SOA-Problem gefunden zu haben. Sie konnten ein kurzes SOA realisieren, indem die Prime-Reaktion zeitlich nach hinten verschoben wurde, so dass Probanden erst nach der lexikalischen Entscheidung für den Probe auf den Prime reagieren mussten. Ebenso wie im Standardparadigma blieb in dieser modifi-

zierten Versuchsanordnung der semantische Bahnungseffekt in lexikalischen Entscheidungszeiten aus, wenn der Prime nach einem Zielbuchstaben durchsucht werden sollte (siehe auch Smith et al., 2001). Wie bereits erwähnt, sind EKP allerdings möglicherweise empfindlichere Maße für automatische Bahnungsprozesse. In den Experimenten 2a und 2b wurde deshalb der von Henik und Kollegen (1994) modifizierte Versuchsaufbau verwendet, um Verarbeitungstiefeneffekte auf die EKP-Korrelate semantischer Bahnung bei kurzem und langem SOA zu untersuchen.

Untersuchungen zur Verarbeitungstiefe im Stroop-Paradigma sind bisher kaum in der relevanten vokalen Antwortmodalität durchgeführt worden. Zudem konkurrieren mehrere Erklärungsansätze miteinander, die unterschiedliche Annahmen bezüglich des Einflusses von Einzelbuchstaben-Manipulationen auf die Reaktionszeiten für verschiedene Reizkategorien machen. So setzen die Theorien der semantischen Aktivierungsblockade (Besner et al., 1997) und die der verbesserten Zielselektion (Manwell et al., 2004) eine Reaktionszeitverkürzung für inkongruente Reize voraus. Im Fall des Aktivierungsblockaden-Ansatzes sollen die inkongruenten Reaktionszeiten dabei sogar bis auf das Niveau von neutralen Reizen reduziert werden. Demgegenüber nimmt Monahan (2001) an, dass die Verminderung des Stroop-Effekts auf eine erschwerte Farbverarbeitung zurückgeht, die sich in einem allgemeinen Anstieg der Reaktionszeiten äußert, der für neutrale Reize stärker ausgeprägt ist. Trotz dieser Kontroverse hat die bisherige Forschung sich kaum mit dem genauen Ergebnismuster beschäftigt, das einer Verminderung bzw. Eliminierung des Stroop-Effekts zugrunde liegt (siehe aber Parris, Sharma & Weekes, 2007). In Experiment 3 wurde deswegen untersucht, welchen Einfluss das Hervorheben eines Einzelbuchstabens auf die spezifischen Farbbenennungslatenzen für inkongruente und neutrale Reize hat. Dabei sollten die Auswirkungen vom Einfärben eines Einzelbuchstabens von denen räumlicher Hinweisreize differenziert werden, unter anderem sollte also geprüft werden, inwieweit Hinweisreize auch für einfarbige Stroop-Reize den Stroop-Effekt vermindern. Zwar konnten Besner und Stolz (1999a) zumindest für manuelle Reaktionen bereits einen solchen Effekt zeigen, dieser waren aber nach Ansicht der Autoren nicht vollständig ausgeprägt, weil die Probanden nicht immer Gebrauch von den Hinweisreizen machten. Im Stroop-Paradigma kann die Reizverarbeitung durch Verarbeitungs-Sets beeinflusst werden, die über den Verlauf des Experiments hinweg aufgebaut werden (Besner & Stolz, 1999b). In Experiment 3 wurde deswegen innerhalb einer Versuchsgruppe die Verarbeitung von Teilaspekten der Stroop-Reize induziert, um so die Auswirkungen von Hinweisreizen innerhalb einfarbiger Stroop-Reize zu maximieren und somit genauer quantifizieren zu können.

2 Experimente

Die Auswirkungen von Manipulationen der Verarbeitungstiefe auf verschiedene Verhaltens- und elektrophysiologische Indizes semantischer Aktivierung wurden in drei Experimentalreihen untersucht.

2.1 Experiment 1: Bahnungseffekte in Abhängigkeit von der Probe-Aufgabe

In den Experimenten 1a bis 1c wurden erstmals Bahnungseffekte nach der Buchstabensuche für zwei verschiedene Verhaltensmaße miteinander verglichen, lexikalische Entscheidungszeiten und Benennungslatenzen für den Probe.

2.1.1 Experiment 1a: Benennungsaufgabe bei festem SOA

In Experiment 1a wurde untersucht, inwieweit die Verarbeitungstiefe des Primes Bahnungseffekte in Probe-Benennungslatenzen beeinflusst. Verarbeitungstiefe wurde dabei über die Art der Prime-Aufgabe operationalisiert und die Probanden wurden dementsprechend in zwei Versuchsgruppen aufgeteilt. Während die erste Versuchsgruppe den Prime leise lesen sollte (tiefe Verarbeitung), musste die zweite Versuchsgruppe entscheiden, ob ein oberhalb des Primes dargebotene Zielbuchstabe im Primewort enthalten war (oberflächliche Verarbeitung). Da für das Lesen des Primes und die Suche nach einem Zielbuchstaben unterschiedliche Bearbeitungszeiten angenommen werden können, wurde in beiden Gruppen ein festes Prime-Probe SOA von 1500 ms gewählt, um so eine Konfundierung von SOA und Art der Prime-Aufgabe zu vermeiden. Als Stimuli dienten 100 semantisch assoziierte und 100 nicht assoziierte Wortpaare. Am Anfang jedes Durchgangs wurde zunächst der Prime und darüber wiederholt der Zielbuchstabe dargeboten, auf die der Proband entsprechend seiner Gruppenzugehörigkeit reagieren sollte. Nach einem SOA von 1500 ms erschien dann der Probe, der von den Probanden beider Gruppen so schnell wie möglich laut benannt werden sollte.

Tabelle 1

Verhaltensdaten aus Experiment 1a. Die Tabelle zeigt Benennungslatenzen und Fehlerraten für assoziierte und nicht assoziierte Probes in den beiden Prime-Aufgabe-Gruppen (Standardabweichungen in Klammern).

Prime-Aufgabe	Art des Probes	Reaktionszeit [ms]	Fehlerrate [%]
Lesen	assoziiert	520 (54)	0.7 (1.0)
	nicht assoziiert	529 (53)	1.3 (1.8)
Buchstabensuche	assoziiert	515 (69)	1.4 (1.6)
	nicht assoziiert	524 (68)	1.3 (1.8)

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, zeigte sich in den Benennungslatenzen beider Versuchsgruppen, d.h. unabhängig von der Prime-Aufgabe, ein zwar kleiner, aber hoch signifikanter semantischer Bahnungseffekt von 9 ms. Unabhängig von der Verarbeitungstiefe des Primes wurden also zum vorangehenden Primewort semantisch assoziierte Probeworte schneller benannt als nicht assoziierte Probeworte, d.h. eine semantische Analyse des Primes fand auch im Rahmen der Buchstabensuchaufgabe statt. Inwieweit diese Analyse automatisch erfolgte, lässt sich allerdings aufgrund des verwendeten festen Prime-Probe SOA nicht ausmachen: Reaktionszeiten für die Buchstabensuchaufgabe lagen im Mittel bei 820 ms, so dass innerhalb eines SOA von 1500 ms noch weitere 680 ms für eine erneute und möglicherweise semantische Analyse des Primes zur Verfügung standen. Um dies zu vermeiden, wurde deshalb in der bisherigen Forschung meistens ein variables SOA verwendet, so auch in den Untersuchungen, in denen der Verhaltensbahnungseffekt in Folge von oberflächlicher Prime-Verarbeitung ausblieb (Mari-Beffa et al., 2000; Stolz & Besner, 1996; Stolz & Besner, 1998).

2.1.2 Experiment 1b: Benennungsaufgabe bei flexiblem SOA

Ziel von Experiment 1b war es, den in Experiment 1a trotz oberflächlicher Prime-Verarbeitung erhaltenen semantischen Bahnungseffekt für Benennungslatenzen zu replizieren. Dabei wurde ein flexibles Prime-Probe SOA verwendet, das bei der Untersuchung von Bahnungseffekten nach der Buchstabensuche gebräuchlicher ist. Bis auf das SOA waren Versuchsaufbau und Stimulusmaterial identisch mit denen der zweiten Versuchsgruppe (Buchstabensuche) in Experiment 1a. Das flexible SOA wurde umgesetzt, indem der Probe jeweils 200 ms nach der Reaktion auf die Prime-Aufgabe präsentiert wurde.

Tabelle 2

Verhaltensdaten aus Experiment 1b. Die Tabelle zeigt Benennungslatenzen und Fehlerraten für assoziierte und nicht assoziierte Probes (Standardabweichungen in Klammern).

Prime-Aufgabe	Art des Probes	Reaktionszeit [ms]	Fehlerrate [%]
Buchstabensuche	assoziiert	520 (59)	1.4 (1.3)
	nicht assoziiert	529 (71)	2.2 (2.0)

In den Benennungslatenzen für den Probe fand sich nach Buchstabensuche innerhalb des Primes erneut ein robuster semantischer Bahnungseffekt von 9 ms, der auf signifikant schnellere Reaktionen für semantisch assoziierte Probes zurückgeht (siehe Tabelle 2). Der in Experiment 1a gefundene Bahnungseffekt ist demnach nicht auf eine intensivere und bewusste Prime-Analyse zurückzuführen, die durch das feste SOA ermöglicht wurde.

2.1.3 Experiment 1c: Lexikalische Entscheidungsaufgabe

Charakteristika des verwendeten Stimulusmaterials, wie beispielsweise Worthäufigkeit und -länge, haben großen Einfluss auf den semantischen Bahnungseffekt (Hutchison, Balota, Cortese & Watson, 2008) und darauf, in welchem Ausmaß er durch Buchstabensuche innerhalb des Primes vermindert wird (Tse & Neely, 2007). Unklar ist deshalb, inwieweit der Erhalt semantischer Bahnung in den Experimenten 1a und 1b tatsächlich auf die Verwendung von Probe-Benennungsaufgabe zurückzuführen ist und nicht lediglich ein Artefakt des verwendeten Stimulusmaterials darstellt. Deshalb sollte in Experiment 1c gezeigt werden, dass der Bahnungseffekt bei gleichem Versuchsaufbau und Stimulusmaterial in lexikalischen Entscheidungszeiten vermindert wird.

Um eine lexikalische Entscheidungsaufgabe für den Probe zu ermöglichen, wurde das in den Experimenten 1a und 1b verwendete Stimulusmaterial um 200 Wort-Nichtwort-Paare ergänzt. Die Probanden wurden in zwei Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Probe-Aufgaben aufgeteilt und sollten den Prime entweder leise lesen oder nach einem Zielbuchstaben durchsuchen. Bei ansonsten gleichem Versuchsaufbau wie in Experiment 1a sollten die Probanden auf die Präsentation des Probewortes hin jedoch entscheiden, ob es sich dabei um ein Wort der deutschen Sprache handelte oder nicht.

Tabelle 3

Verhaltensdaten aus Experiment 1c. Die Tabelle zeigt lexikalische Entscheidungszeiten und Fehlerraten für assoziierte und nicht assoziierte Probes in den beiden Prime-Aufgabe-Gruppen (Standardabweichungen in Klammern).

Prime-Aufgabe	Art des Probes	Reaktionszeit [ms]	Fehlerrate [%]
Lesen	assoziiert	537 (66)	2.1 (2.5)
	nicht assoziiert	573 (64)	4.6 (3.1)
Buchstabensuche	assoziiert	544 (62)	2.0 (2.1)
	nicht assoziiert	563 (56)	3.8 (2.8)

Wie in Tabelle 3 zu sehen, ergab sich nach Lesen des Primes in den lexikalischen Entscheidungszeiten ein semantischer Bahnungseffekt von 39 ms, während eine Buchstabensuche im Primewort den Effekt auf 19 ms, also um etwa die Hälfte, verminderte. Daraus kann geschlossen werden, dass Fehlen des semantischen Bahnungseffektes in lexikalischen Entscheidungszeiten (Friedrich et al., 1991; Smith et al., 2001) nicht mit dem Ausbleiben der zugrundeliegenden Prozesse gleichzusetzen ist. Vielmehr hängt die Beobachtung des Effekts von der Wahl des Verhaltensmaßes ab, wobei Benennungslatenzen offenbar sensitiver für semantische Bahnungsprozesse sind als lexikalische Entscheidungszeiten. Mögliche Ursache könnte sein, dass eine oberflächliche Primeverarbeitung selektiv den semantischen Matching-Mechanismus einschränkt, der nur in der lexikalischen Entscheidungsaufgabe zum Tragen kommt. Sollten Erwartungsprozesse und insbesondere automatische semantische Aktivierungsausbreitung allerdings gänzlich unbeeinträchtigt bleiben, so würde der Bahnungseffekt auch in lexikalischen Entscheidungszeiten stets nur vermindert (Henik et al., 1994; Kaye & Brown, 1985), aber nie vollständig eliminiert werden (Friedrich et al., 1991; Smith et al., 2001). In diesem Zusammenhang ist auch eine Untersuchung von Hutchison und Bosco (2007) wichtig, die zwar indirekt semantischen Zugriff auf das Primewort zeigen konnten, aber keine Hinweise auf semantische Bahnung in Probe-Benennungslatenzen fanden. Eine mögliche Erklärung für dieses uneinheitliche Ergebnismuster könnte sein, dass automatische Bahnungseffekte im Paradigma der Buchstabensuche flüchtig (vergleiche Henik et al., 1994) und schwer fassbar sind. Da Charakteristika des Stimulusmaterials ausschlaggebend für die Größe des Bahnungseffekts und die einschränkende Wirkung oberflächlicher Verarbeitung sein können (Hutchison et al., 2008; Tse & Neely, 2007), hängt die Entdeckung automatischer

Bahnungsprozesse möglicherweise vom jeweiligen Versuchsaufbau und den verwendeten Stimuli ab.

2.2 Experiment 2: EKP-Korrelate semantischer Bahnung für zwei SOA

Die Buchstabensuchaufgabe macht ein langes SOA erforderlich, nach dem laut Neely (1977) die vom Prime ausgehenden automatischen Bahnungsprozesse möglicherweise bereits wieder abgeklungen oder nicht mehr messbar sind (siehe allerdings Deacon, Uhm, Ritter, Hewitt & Dynowska, 1999, für einen gegenteiligen EKP-Befund). Henik und Kollegen (1994) realisierten in einem modifizierten Paradigma neben einem langen auch ein kurzes SOA. In beiden Fällen ergab sich durch Buchstabensuche innerhalb des Primes eine Eliminierung des semantischen Bahnungseffekts in lexikalischen Entscheidungszeiten.

2.2.1 Experiment 2a: Tiefe Prime-Verarbeitung

In Experiment 2a wurde in einem nach Henik und Kollegen (1994) modifizierten Bahnungsparadigma zunächst eine tiefe Prime-Verarbeitung induziert. Zusätzlich zu lexikalischen Entscheidungszeiten wurden EKP erhoben, die sich in der Vergangenheit als robusteres Maß für semantische Verarbeitungsprozesse erwiesen haben (Heil et al., 2004; Dombrowski & Heil, 2005). Zu diesem Zweck wurde das EEG mit Ag/AgCl Elektroden an F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4 abgeleitet. Elektrophysiologisches Maß für semantische Bahnung war die Modulation der N400, die als die gemittelte Amplitude im Zeitraum zwischen 300 und 500 ms nach Darbietung des Probe-Reizes definiert wurde. Die Probanden wurden in zwei Versuchsgruppen aufgeteilt, die sich hinsichtlich des Prime-Probe SOA unterschieden. Als Stimuli dienten 24 semantisch assoziierte und 24 nicht assoziierte Wortpaare, sowie 48 Wort-Nichtwort-Paare, die im Verlauf des Experiments jeweils viermal präsentiert wurden. Der Prime, auf den die Probanden zunächst nicht reagieren sollten, wurde zusammen mit einem wiederholten Zielbuchstaben dargeboten. Mit einem SOA von 240 ms bzw. 840 ms erfolgte dann die Darbietung des Probes, für den unmittelbar eine lexikalische Entscheidung getroffen werden musste. Im Anschluss daran, sollten die Probanden das grammatikalische Geschlecht des Primes angeben.

Tabelle 4

Verhaltensdaten aus Experiment 2a. Die Tabelle zeigt lexikalische Entscheidungszeiten und Fehlerraten für assoziierte und nicht assoziierte Probes in den beiden SOA-Gruppen (Standardabweichungen in Klammern).

SOA	Art des Probes	Reaktionszeit [ms]	Fehlerrate [%]
kurz	assoziiert	786 (144)	2.5 (3.2)
	nicht assoziiert	801 (156)	3.3 (4.3)
lang	assoziiert	829 (212)	4.4 (3.3)
	nicht assoziiert	846 (224)	3.4 (3.7)

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, zeigten sich auf Verhaltensebene sowohl bei kurzem als auch bei langem SOA signifikante Bahnungseffekte von 15 ms bzw. 17 ms. Abbildung 1 stellt die Ergebnisse auf elektrophysiologischer Ebene dar. Unabhängig vom SOA fand sich ein elektrophysiologischer Bahnungseffekt, das heißt im Zeitfenster der N400 ergab sich für nicht assoziierte Probes ein negativerer Potentialverlauf. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, unterschieden sich die N400-Bahnungseffekte für die zwei SOA-Gruppen deutlich in Ausprägung und Zeitverlauf. Gründe hierfür sind zum einen, dass das Probe-EKP nach dem kurzen SOA noch von Prozessen der Prime-Verarbeitung überlagert wird, und zum anderen, dass nach dem langen SOA vermehrt kontrollierte Bahnungsprozesse an der Generierung der N400 beteiligt sind (Deacon et al., 1999).



Abbildung 1: EKP-Daten aus Experiment 2a. Die Abbildung zeigt die über die Versuchspersonen der beiden SOA-Gruppen gemittelten Potentialverläufe für assoziierte und nicht assoziierte Probes an Pz. Das für die N400 definierte Zeitfenster ist grau hinterlegt.

2.2.2 Experiment 2b: Oberflächliche Prime-Verarbeitung

Im Unterschied zu Experiment 2a bestand die Prime-Aufgabe der Probanden in Experiment 2b in einer Buchstabensuche, die eine oberflächlichere Verarbeitung des Prime-Wortes induzieren sollte. Das Stimulusmaterial und der restliche Versuchsaufbau waren identisch mit denen des vorangegangenen Experimentes.

Tabelle 5

Verhaltensdaten aus Experiment 2b. Die Tabelle zeigt lexikalische Entscheidungszeiten und Fehlerraten für assoziierte und nicht assoziierte Probes in den beiden SOA-Gruppen (Standardabweichungen in Klammern).

SOA	Art des Probes	Reaktionszeit [ms]	Fehlerrate [%]
kurz	assoziiert	908 (251)	2.1 (1.9)
	nicht assoziiert	913 (226)	2.6 (2.4)
lang	assoziiert	622 (118)	1.6 (2.0)
	nicht assoziiert	629 (117)	0.8 (1.2)

Tabelle 5 zeigt, dass sich auf Verhaltensebene weder bei kurzem noch bei langem SOA signifikante semantische Bahnungseffekte ergaben (5 bzw. 7 ms). Im Gegensatz dazu zeigten die elektrophysiologischen Daten für beide SOA-Gruppen robuste N400-Bahnungseffekte (siehe Abbildung 2), die sich, wie schon in Experiment 2a, für die beiden SOA-Gruppen in Zeitverlauf und Ausprägung unterscheiden.

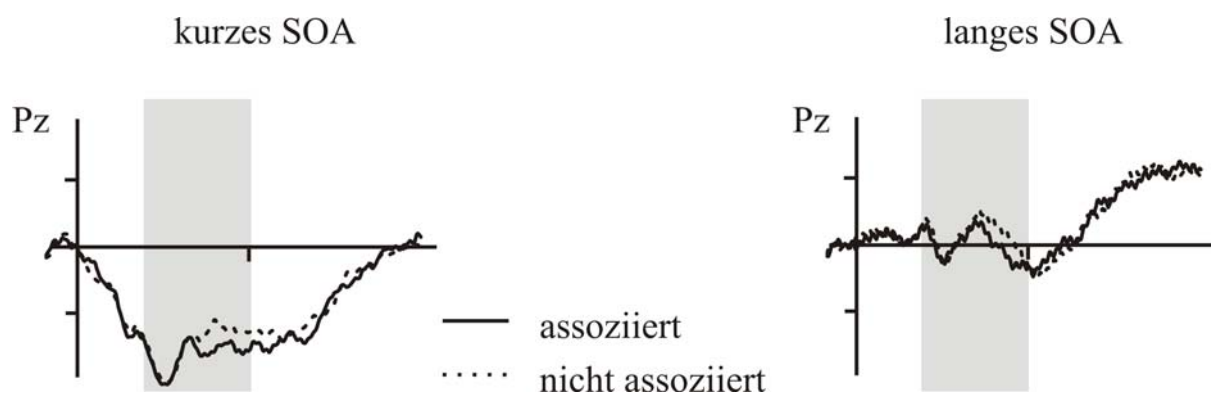


Abbildung 2: EKP-Daten aus Experiment 2b. Die Abbildung zeigt die über die Versuchspersonen der beiden SOA-Gruppen gemittelten Potentialverläufe für assoziierte und nicht assoziierte Probes an Pz. Das für die N400 definierte Zeitfenster ist grau hinterlegt.

In den Experimenten 2a und 2b konnten demnach die Ergebnisse von Henik und Kollegen (1994) dahingehend repliziert werden, dass sowohl bei kurzem als auch bei langem SOA Verhaltensbahnungseffekte ausblieben, wenn der Prime nach einem Buchstaben durchsucht werden musste. Allerdings war das Fehlen von Reaktionszeiteffekten nicht gleichbedeutend mit dem Ausbleiben semantischer Aktivierung, die auch nach Buchstabensuche im N400-Bahnungseffekt offensichtlich wurde. Bei kurzem SOA sind für diesen Effekt möglicherweise automatische Prozesse ursächlich, da kontrollierte Prozesse erst ab einem SOA von 400 ms wirksam werden sollen (Neely, 1977). Anders als das Standard-Bahnungsparadigma erfordert es die von Henik und Kollegen (1994) vorgeschlagene Modifizierung allerdings, dass wichtige Aspekte des Primes bis zum Ende eines Versuchsdurchgangs im Gedächtnis behalten werden. Möglicherweise wurde so auch bei kurzem SOA die Beteiligung kontrollierter Verarbeitungsprozesse durch die Notwendigkeit, den Prime zu erinnern, verstärkt. So läge eine semantische Verarbeitung des Primewortes beispielsweise vor, wenn sich die Probanden den gesamten Prime-Stimulus, also sowohl das Primewort als auch den Zielbuchstaben einprägen würden, um dann im Anschluss an die Probe-Antwort zu entscheiden, ob der Zielbuchstabe im Primewort enthalten war oder nicht. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass sich in beiden Experimenten für den Probe längere Reaktionszeiten ergaben als im Standard-Bahnungsparadigma üblich, während Reaktionen auf den Prime stark beschleunigt waren (vergleiche zum Beispiel Hutchison & Bosco, 2007; Mari-Beffa, Valdes, Cullen, Catena & Houghton, 2005). Dies deutet darauf hin, dass die Probanden unmittelbar während der Prime-Präsentation eine Buchstabensuche durchführten und sich lediglich die entsprechende Antworttendenz einprägten. Es ist deshalb davon auszugehen, dass der Prime tatsächlich nur oberflächlich auf orthographische Merkmale hin verarbeitet wurde und der N400-Bahnungseffekt bei kurzem SOA durch eine automatische Aktivierung der Wortbedeutung erzeugt wurde. Selbst wenn es aufgrund der für die verzögerte Prime-Antwort spezifischen Aufgabenanforderungen zu einer Verstärkung kontrollierter Bahnungsprozesse gekommen sein sollte, ist es unwahrscheinlich, dass diese sich nur selektiv auf die elektrophysiologischen Maße ausgewirkt haben könnte und damit ursächlich für die Dissoziation von Verhaltens- und EKP-Effekten wäre.

2.3 Experiment 3: Verarbeitungstiefe-Effekte für zwei Arten von Stroop-Reizen

Um zwischen den verschiedenen Erklärungsansätzen für die Auswirkungen von Einzelwort-Manipulationen im Stroop-Paradigma differenzieren zu können, muss neben dem Stroop-Effekt auch das ihm zugrundeliegende Ergebnismuster untersucht werden. Gleichzeitig ist die Verwendung der vokalen Antwortmodalität notwendig, um Aussagen über Wortverarbeitungsprozesse treffen zu können. In Experiment 3 wurde deswegen untersucht, wie sich das Hervorheben eines Einzelbuchstabens auf Farbbenennungslatenzen für inkongruente und neutrale Reize auswirkt. Dabei sollten die Auswirkungen des Einfärbens eines Einzelbuchstabens und der Einfluss räumlicher Hinweisreize getrennt voneinander betrachtet werden. Dementsprechend wurden zwei Versuchsgruppen gebildet, die sich hinsichtlich der Art der räumlichen Hinweisreize unterschieden. In der ersten Versuchsgruppe entsprachen die Hinweisreize dem Farbstatus des Reizes, d.h. wenn nur ein Einzelbuchstabe eingefärbt war wurde auch nur die Position dieses Buchstabens durch Hinweisreize hervorgehoben, während bei einfarbigen Stroop-Reizen alle Buchstabenpositionen mit Hinweisreizen versehen wurden. Für die zweite Versuchsgruppe betrafen die Hinweisreize dagegen unabhängig vom Farbstatus immer nur einen Einzelbuchstaben, um so auch für einfarbige Stroop-Reize eine Aufmerksamkeitsfokussierung auf diesen zu erreichen. Als räumliche Hinweisreize dienten weiße Pfeile, die zunächst ober- und unterhalb der späteren Buchstabenposition(en) dargeboten wurden. Nach 125 ms wurde zusätzlich der Stroop-Reiz präsentiert, der entweder einfarbig war, oder innerhalb dessen ein einzelner Buchstabe in der Zielfarbe gedruckt war, während die restlichen Buchstaben in einer anderen Farbe aus dem Antwort-Set präsentiert wurden. Stroop-Reize waren entweder neutrale nicht mit Farbe assoziierte Worte oder Farbworte, deren Bedeutung mit ihrer Druckfarbe inkongruent war. Aufgabe der Probanden war es, die Farbe des bzw. der durch Hinweisreize markierten Buchstaben(s) so schnell wie möglich zu benennen.

Wie aus Tabelle 6 ersichtlich, konnten Probanden die Farbe neutraler Reize (675 ms) signifikant schneller benennen als die inkongruenter Reize (736 ms), wobei dieser Stroop-Effekt für beide Versuchsgruppen stärker ausgeprägt war, wenn alle Buchstaben gleich eingefärbt waren. Allerdings ging die Reduzierung des Stroop-Effekts in der Einzelbuchstaben-Bedingung auf eine Verlängerung der Reaktionszeiten für neutrale Stimuli zurück, während Reaktionszeiten für inkongruente Reize unverändert blieben. Ähnlich verhielt es sich auch mit der Hinweisreiz-Manipulation: Wenn konsistent nur ein Buchstabe mit Hinweisreizen versehen wur-

de, verringerte sich zwar auch für einfarbige Stimuli der Stroop-Effekt, dies ging aber ebenfalls ausschließlich auf verlangsamte Reaktionen in der neutralen Bedingung zurück.

Tabelle 6

Verhaltensdaten aus Experiment 3. Die Tabelle zeigt Benennungslatenzen und Fehlerraten für neutrale und inkongruente Stroop-Reize in Abhängigkeit vom Farbstatus für die beiden Hinweisreiz-Gruppen (Standardabweichungen in Klammern).

Hinweisreiz	Zielfarbe	Reizart	Reaktionszeit [ms]	Fehlerrate [%]
variabel	Einzelbuchstabe	neutral	684 (63)	0.9 (1.0)
		inkongruent	726 (57)	1.8 (2.0)
	alle Buchstaben	neutral	643 (54)	0.6 (0.7)
		inkongruent	729 (80)	1.7 (1.6)
Einzelbuchstabe	Einzelbuchstabe	neutral	696 (76)	0.8 (0.9)
		inkongruent	746 (85)	1.5 (1.4)
	alle Buchstaben	neutral	677 (78)	0.6 (0.8)
		inkongruent	745 (79)	2.2 (2.4)

Diese Ergebnisse sind weder mit der Theorie der semantischen Aktivierungsblockade vereinbar (Besner et al., 1997), noch sprechen sie für eine verbesserte Zielreizselektion (Manwell et al., 2004). Vielmehr stützen sie den Ansatz Monahans (2001), der postulierte, dass Einzelbuchstaben-Manipulationen die Farbverarbeitung erschweren. Tatsächlich konnte die Druckfarbe in Experiment 3 insgesamt schneller benannt werden, wenn der Stroop-Reiz einfarbig war (698 ms) als wenn nur ein Einzelbuchstabe in der Zielfarbe und die restlichen Buchstaben in einer anderen Farbe des Antwort-Sets eingefärbt waren (712 ms). Ursächlich für die erschwerte Farbverarbeitung ist vermutlich die durch das Hinzufügen von weiteren Farben und Hinweisreizen stark erhöhte Komplexität des Stroop-Stimulus. Die Selektion der Zielfarbe wird zudem durch Farb-Farb-Interferenz erschwert, die entsteht, wenn ein Buchstabe in der Zielfarbe und die restlichen Buchstaben in einer anderen Farbe aus dem Antwort-Set eingefärbt sind (Glaser & Glaser, 1982; Hagenaar & Van der Heijden, 1986). Ein Erklärungsansatz im Sinne verbesserter Selektivität zwischen den Stimulusdimensionen sollte trotzdem nicht endgültig verworfen werden, da in der Literatur auch von beschleunigten Reaktionen für inkongruente Reize berichtet wird (siehe zum Beispiel Parris et al., 2007). In diesen Studien wurden zum Teil längere Stroop-Reize verwendet, was den Einfluss verbesserter Zielselektion möglicherweise dadurch verstärkt, dass bei einer Fokussierung der Aufmerksamkeit ein grö-

Berer Anteil des Gesamtwortes außerhalb des perzeptuellen Fokus liegt (Kahnemann & Henik, 1981). Die verbesserte Zielselektion ginge in diesem Fall auf eine unvollständige Merkmalsintegration für das Gesamtwort zurück (Neely & Kahan, 2001).

3 Allgemeine Diskussion

Die etablierte Definition der semantischen Aktivierung als ein automatischer Prozess (Neely, 1977) wurde aufgrund neuerer Forschungsergebnisse zum Bahnungs- und zum Stroop-Paradigma in Zweifel gezogen. So konnte gezeigt werden, dass sowohl der semantische Bahnungseffekt als auch der Stroop-Effekt ausbleiben können, wenn eine oberflächliche Wortverarbeitung induziert wird, indem Aufmerksamkeit auf einen Einzelbuchstaben des Wortes gelenkt wird (Friedrich et al., 1991; Besner et al., 1997). Die Schlussfolgerung, dass es in diesen Fällen nicht zur semantischen Aktivierung des Wortkonzepts kommt, ist allerdings nur unter der Annahme zulässig, dass ein fehlender Verhaltenseffekt mit dem Ausbleiben des zugrundeliegenden Prozesses gleichzusetzen ist. Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen, dass dies für die semantische Aktivierung nicht der Fall ist. So konnten bestehende Befunde zu Einzelbuchstaben-Manipulationen zwar sowohl im Bahnungs- als auch im Stroop-Paradigma repliziert werden, in alternativen Verhaltens- und elektrophysiologischen Maßen fanden sich allerdings eindeutige Belege für die Aktivierung der Wortbedeutung trotz oberflächlicher Wortverarbeitung.

Im Rahmen des Bahnungsparadigmas stützt sich die Behauptung, semantische Aktivierung sei nicht automatisch, bisher fast ausschließlich auf die Untersuchung von lexikalischen Entscheidungszeiten für den Probe. In den Experimenten 1a und 1b wurden stattdessen Benennungslatenzen für den Probe erhoben, die den Vorteil haben, dass sie in geringerem Maß durch kontrollierte Bahnungsprozesse moduliert werden als lexikalische Entscheidungszeiten (Keefe & Neely, 1990; Neely et al., 1989). Sowohl in Experiment 1a als auch in Experiment 1b fanden sich trotz oberflächlicher Prime-Verarbeitung signifikante semantische Bahnungseffekte in den Benennungslatenzen. Diese waren darüber hinaus genauso groß wie in einer Vergleichsgruppe, in der eine semantische Prime-Verarbeitung induziert wurde. Experiment 1c belegte, dass es sich bei diesem Effekt nicht um ein Artefakt des Stimulusmaterials handelte: In lexikalischen Entscheidungszeiten war der semantische Bahnungseffekt nach Buchstabensuche gegenüber dem in der semantischen Vergleichsgruppe stark verkleinert. Dieses Ergebnismuster kann dahingehend interpretiert werden, dass Buchstabensuche selektiv den semantischen Matching-Mechanismus einschränkt, der für lexikalische Entscheidungszeiten,

nicht aber für Benennungslatenzen zum Bahnungseffekt beiträgt. Bisherige Demonstrationen von erhaltener semantischer Aktivierung trotz Buchstabensuche gingen mit teilweise fundamentalen Veränderungen des Ursprungsparadigmas einher (Mari-Beffa, et al., 2000). Hutchison und Kollegen (2008) betonen zudem, dass die Ergebnisse verschiedener Studien nur sehr bedingt miteinander vergleichbar sind, da der Bahnungseffekt in hohem Maße von Charakteristika des Stimulusmaterials abhängig ist. Die Daten aus den Experimenten 1a bis 1c sind damit von besonderer Bedeutsamkeit, da sie im Rahmen der Buchstabensuchaufgabe meines Wissens nach erstmals den direkten Vergleich von Bahnungseffekten in lexikalischen Entscheidungszeiten und Benennungslatenzen für den Probe ermöglichen. Die Dissoziation der Ergebnisse ist ein klarer Beleg dafür, dass eine Reduzierung des Bahnungseffekts für lexikalische Entscheidungszeiten spezifisch ist und diese deswegen ein unzureichender Indikator für semantische Verarbeitungsprozesse sind.

In den Experimenten 2a und 2b fand sich für ein elektrophysiologisches Vergleichsmaß eine ähnliche Dissoziation. Für lexikalische Entscheidungszeiten konnte das Ausbleiben des semantischen Bahnungseffekts nach oberflächlicher Prime-Verarbeitung zwar bestätigt werden (Henik et al., 1994; Smith et al., 2001), die Modulation der N400 belegte aber, dass es trotzdem zur semantischen Aktivierung des Primewortes gekommen war. Wie schon in vorangegangenen Untersuchungen (Heil et al., 2004; Dombrowski & Heil, 2005) erwiesen sich EKP-Indizes in den Experimenten 2a und 2b demnach als ein empfindlicheres Maß für semantische Bahnungsprozesse, als es lexikalische Entscheidungszeiten sind. Möglicherweise stellt die N400 ein unmittelbareres Maß dar, da sie nicht wie Verhaltensmaße durch Prozesse der Reaktionsauswahl und -durchführung moduliert wird. Es ist anzunehmen, dass diese beiden Prozesse durch die Aufgabenanforderungen der Buchstabensuche beeinflusst werden. So stehen hier orthographische und nicht, wie durch den Leseprozess gewohnt, semantische Stimulusaspekte im Vordergrund. Die Tatsache, dass der N400-Bahnungseffekt auch bei einem kurzen Prime-Probe SOA auftrat, bei dem der Einfluss kontrollierter semantischer Verarbeitungsprozesse minimal sein soll (Neely, 1977), stellt eine wichtige Erweiterung bestehender Forschungsergebnisse dar.

In Experiment 3 konnte auch für das Stroop-Paradigma gezeigt werden, dass das Ausbleiben eines Verhaltenseffekts nicht mit dem Ausbleiben semantischer Aktivierung gleichzusetzen ist. Der Stroop-Effekt ergibt sich aus dem Vergleich der Reaktionszeiten für inkongruente und neutrale bzw. kongruente Stroop-Reize. Trotzdem ist in der bisherigen Forschung zu Einzelbuchstaben-Manipulationen im Stroop-Paradigma dem Ergebnismuster, das der Reduzierung

des Stroop-Effekts zugrunde liegt, kaum Beachtung geschenkt worden. Wenn eine oberflächliche Wortverarbeitung tatsächlich semantische Aktivierung einschränkt, müsste sich das in einer schnelleren Farbbenennung für inkongruente Reize äußern, da für diese Reizkategorie die Wortbedeutung mit dem Ergebnis der Farbanalyse interferiert. In Experiment 3 konnte eindeutig gezeigt werden, dass dies nicht der Fall ist. Sowohl das Einfärben eines Einzelbuchstabens als auch räumliche Hinweisreize ließen Reaktionszeiten für inkongruente Reize unbeeinträchtigt und verlangsamten stattdessen Reaktionen auf neutrale Stimuli. Einzelbuchstaben-Manipulationen erhöhen offenbar die Komplexität des Stroop-Reizes, was wiederum die Verarbeitung der Zielfarbe erschwert (Monahan, 2001).

Die drei Experimentalreihen konnten somit zeigen, dass es auch bei Induktion oberflächlicher Wortverarbeitung zu einer Aktivierung der Wortbedeutung kam. Unklar ist aber inwiefern diese tatsächlich ausschließlich auf automatischen Prozessen basierte. Obwohl die Aufgabenstellung eine oberflächliche Wortverarbeitung induzieren sollte, ist es denkbar, dass die Probanden den Wortreiz trotzdem aktiv auf seine Verarbeitung hin analysierten. Dies käme einer ineffektiven Manipulation der Verarbeitungstiefe gleich.

In den Experimenten 1a und 1b wurde mit Benennungslatenzen ein Verhaltensmaß gewählt, das lediglich durch semantische Aktivierungsausbreitung und erwartungsbasierte Bahnungsprozesse moduliert wird. Es ist anzunehmen, dass diese beiden Prozesse durch die Verarbeitungstiefe-Manipulation unbeeinträchtigt blieben, da sich nach tiefer und oberflächlicher Prime-Verarbeitung vergleichbare Bahnungseffekte ergaben. Die in Experiment 1c festgestellte Verminderung des Bahnungseffekts zeigt gleichzeitig, dass das Hervorheben eines Einzelbuchstabens tatsächlich zu einer Veränderung der Wortverarbeitung führt, die aber offenbar einen Prozess betrifft, der nur lexikalische Entscheidungszeiten moduliert. Der semantische Matching-Mechanismus stellt einen solchen Prozess dar (Neely & Keefe, 1989). Andererseits macht es das in den Experimenten 1a bis 1c verwendete lange Prime-Probe SOA schwierig, eindeutige Aussagen über automatische Prozesse zu machen, da diese nach einem langen SOA möglicherweise bereits nicht mehr messbar sind. Die trotz oberflächlicher Wortverarbeitung erhaltenen Bahnungseffekte könnten unter diesen Umständen ausschließlich die Auswirkungen erwartungsbasierter Bahnungsprozesse widerspiegeln. Allerdings ist unklar, warum Probanden diese kontrollierte semantische Verarbeitungsstrategie im Rahmen einer Buchstaben suchaufgabe in gleichem Maße einsetzen sollten, wie beim Lesen des Primes, für das die Analyse semantischer Stimulusaspekte unvermeidbar ist.

In Experiment 2b konnte die semantische Aktivierung eines oberflächlich verarbeiteten Wortes dagegen nach einem SOA gemessen werden, das als zu kurz für die Beteiligung kontrollierter semantischer Verarbeitungsprozesse gilt (Neely, 1977). Trotzdem macht es die Verzögerung der Prime-Antwort notwendig, den Prime oder die Prime-Antwort bis zum Ende eines Durchgangs zu erinnern. Diese erhöhten Aufgabenanforderungen wurden auch in den gegenüber dem Standard-Paradigma verlängerten Reaktionszeiten für den Probe offensichtlich. Allerdings setzt die Beantwortung der Prime-Aufgabe nicht unbedingt eine semantische Analyse voraus, d.h. es muss nicht notwendigerweise die Bedeutung des Primes erinnert werden. So spiegeln die stark verkürzten Reaktionszeiten für den Prime wahrscheinlich hauptsächlich Prozesse der Reaktionsdurchführung wider. Dies deutet darauf hin, dass der Prime zum Zeitpunkt seiner Darbietung bereits so weit verarbeitet wurde, dass die Probanden sich nur eine Antworttendenz einprägen mussten. In diesem Fall wäre für den Prime tatsächlich nur eine auf orthographische Stimulusaspekte ausgerichtete oberflächliche Analyse vorgenommen worden. Das Ausbleiben von Verhaltensbahnungseffekten nach der Buchstabensuche entspricht Ergebnissen aus dem Standardparadigma und ist gleichzeitig ein Beleg dafür, dass die Verarbeitungstiefe-Manipulation wie in Experiment 1 Prozesse der Wortverarbeitung beeinflusste.

Die im Rahmen des Stroop-Paradigmas in Experiment 3 festgestellte semantische Aktivierung ist zumindest insofern automatisch, als sie unwillkürlich erfolgte. Da keine kongruenten Stroop-Reize dargeboten wurden, ergibt sich durch die Verarbeitung der Wortbedeutung kein Vorteil, sondern lediglich Interferenz bei der Beantwortung der Farbbenennungs-Aufgabe. Für die Domäne der Wortverarbeitung muss die Effektivität der Verarbeitungstiefe-Manipulation allerdings in Zweifel gezogen werden. Das Hervorheben eines Einzelbuchstaben beeinträchtigte zwar den parallel ablaufenden Prozess der Farbverarbeitung, hatte aber anders als in den Experimenten 1 und 2 keinerlei Einfluss auf Prozesse der Wortverarbeitung. Manipulationen der Verarbeitungstiefe müssen allerdings domänenspezifisch erfolgen, um effektiv zu sein (Chiappe et al., 1996; vgl. Besner & Stolz, 1999c, für ein ähnliches Ergebnis im Stroop-Paradigma). Das Einfärben eines Einzelbuchstaben und räumliche Hinweisreize innerhalb eines Stroop-Reizes stellen deshalb kein geeignetes Equivalent zur Buchstabensuchaufgabe im Bahnungs-Paradigma dar. Experiment 3 und generell alle Untersuchungen zu Einzelbuchstaben-Manipulationen im Stroop-Paradigma lassen demnach nur bedingt Rückschlüsse auf die Beschaffenheit von Wortverarbeitungsprozessen zu.

Verschiedene Theorien sind konzipiert worden, um die Auswirkungen oberflächlicher Prime-Verarbeitung auf den semantischen Bahnungseffekt zu erklären. So gehen Stolz und Besner (1998; 1999) davon aus, dass im Rahmen der Buchstabensuchaufgabe eine Aktivierungsblockade zwischen der lexikalischen und der semantischen Ebene aufgebaut wird, um begrenzte Ressourcen auf die Buchstabenebene zu konzentrieren. Semantische Aktivierung soll demnach durch eine oberflächliche Wortverarbeitung vollständig unterbunden werden. In diesem Punkt widersprechen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit eindeutig der Theorie der semantischen Aktivierungsblockade. So kam es in Experiment 1 in keinem der beiden Verhaltensmaße zu einer vollständigen Eliminierung des Bahnungseffekts durch Buchstabensuche. In Experiment 2 kam es unter Verwendung eines veränderten Stimulusmaterials und Versuchsdesigns zwar zum vollständigen Ausbleiben eines Verhaltenseffekts, gleichzeitig belegten die EKP-Daten aber, dass das semantische Prime-Konzept aktiviert wurde.

Ein alternativer Ansatz von Smith und Kollegen (2001) postuliert, dass semantische Aktivierung nicht vollständig unabhängig von Aufmerksamkeits-Ressourcen ist. So muss für die Aktivierung des Wortkonzepts zumindest ein Teil der Aufmerksamkeit auf semantische Stimulusaspekte gerichtet werden. Diese Theorie lässt zumindest Raum für trotz oberflächlicher Wortverarbeitung erhaltene Bahnungseffekte, wie sie in den Experimenten 1 und 2 festgestellt wurden. Allerdings wird vorausgesetzt, dass das Ausmaß der semantischen Aktivierung mit zunehmender Verarbeitungstiefe größer wird (Smith, Theodor & Franklin, 1983). Dieser Annahme widersprechen die Ergebnisse der Experimente 1a und 1b, in denen sich nach der Buchstabensuche gleich große Bahnungseffekte wie nach dem Lesen des Primes ergaben, obwohl der Leseprozess explizit Aufmerksamkeit auf semantische Reizaspekte lenkt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen sich am ehesten auf der Grundlage einer von Henik und Kollegen (1994) konzipierten Theorie erklären. Danach kommt es auch bei oberflächlicher Wortverarbeitung immer automatisch zu einer Aktivierung des semantischen Konzepts, die aber mit der Zeit zerfällt, wenn sie nicht durch Aufmerksamkeit aufrecht erhalten wird. Im Rahmen der Buchstabensuchaufgabe wird der natürliche Aktivierungszerfall (Collins & Loftus, 1975) durch die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf orthographische Reizaspekte beschleunigt. Tatsächlich fanden sich in Experiment 1 und 2 eindeutige Belege für automatische semantische Aktivierung auch bei oberflächlicher Prime-Verarbeitung. Das vollständige Ausbleiben von Verhaltensbahnungseffekten, wie es sich in Experiment 2 findet (vergleiche auch Friedrich et al., 1991; Smith et al., 2001), ist vermutlich durch Charakteristika des verwendeten Stimulusmaterials bedingt. Diese haben großen Einfluss auf die Ausprä-

gung des Bahnungseffekts (Hutchison et al., 2008) und insbesondere auch darauf, in welchem Maße er durch Verarbeitungstiefe-Manipulationen eingeschränkt wird (Tse & Neely, 2007). Die Tatsache, dass in Experiment 2 Bahnungseffekte zwar für die elektrophysiologischen nicht aber für die Verhaltensdaten festgestellt werden konnten, legt nahe, dass Verhaltenseffekte auch durch Prozesse der Reaktionsauswahl und -durchführung für die Buchstabensuche überdeckt werden können. Während automatische Prozesse durch oberflächliche Verarbeitung unbeeinträchtigt bleiben, werden kontrollierte semantische Verarbeitungsprozesse eingeschränkt (vergleiche auch Tse & Neely, 2007), was im Rahmen der Theorie von Henik und Kollegen (1994) dadurch erklärt werden kann, dass sie von Aufmerksamkeits-Ressourcen abhängig sind.

3.1 Ausblick

Die drei Experimentalreihen der vorliegenden Arbeit konnten zeigen, dass es auch dann zu semantischer Aktivierung kommt, wenn eine oberflächliche Wortverarbeitung induziert wird. Allerdings konnte nicht eindeutig belegt werden, dass der semantische Zugriff rein automatisch erfolgte. In Zukunft sollte semantische Aktivierung im Bahnungsparadigma deshalb möglichst noch unmittelbarer gemessen werden, als es das von Henik und Kollegen (2004) modifizierte Versuchsdesign erlaubt. Hutchison und Bosco (2007) unternahmen einen solchen Versuch, indem sie Probanden eine Buchstabensuche für Wörter durchführen ließen, die mit den Konzepten von „Vorhandensein“ und „Abwesenheit“ assoziiert waren. Es zeigte sich, dass positive Reaktionen für Worte, die mit dem Konzept von „Vorhandensein“ assoziiert waren, beschleunigt waren. In ähnlicher Weise konnten Mari-Beffa und Kollegen (2005) zeigen, dass das die Modulation des Rekognitionspotentials, einer negativen EKP-Komponente um 250 ms nach Beginn der Stimuluspräsentation, trotz Buchstabensuche zwischen belebten und unbelebten Primeworten differenzierte.

In Experiment 3 zeigte sich, dass das Einfärben und Markieren eines Einzelbuchstabens im Stroop-Paradigma lediglich Aufmerksamkeitsprozesse beeinflusst, die zwar parallel aber unabhängig von der Wortverarbeitung ablaufen. Einzelbuchstaben-Manipulationen stellen deshalb keine geeignete Entsprechung zur Buchstabensuchaufgabe im Bahnungs-Paradigma dar, da für diese in den Experimenten 1 und 2 Auswirkungen auf semantische Verarbeitungsprozesse nachgewiesen werden konnten. Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen automatischen semantischen Prozessen und der Verarbeitungstiefe sollten daher Ergebnisse

aus dem Einzelbuchstaben-Stroop-Paradigma in seiner derzeitigen Form zukünftig weitestgehend außer Acht gelassen werden.

3.2 Zusammenfassende Thesen

1. Das Ausbleiben von Verhaltenseffekten im Bahnungs- und Stroop-Paradigma ist nicht mit dem Ausbleiben der zugrundeliegenden semantischen Aktivierung gleichzusetzen. Zwar konnten bestehende Forschungsergebnisse dahingehend repliziert werden, dass Verhaltenseffekte infolge von oberflächlicher Wortverarbeitung reduziert wurden oder fehlten, alternative Verhaltens- und elektrophysiologische Maße zeigten aber eindeutig, dass es trotzdem auf die Wortbedeutung zugegriffen wurde.
2. Die Untersuchung von Effekten der Wortverarbeitungstiefe auf semantische Bahnungseffekte sollte sich nicht allein auf lexikalische Entscheidungszeiten für den Probe stützen, da diese in hohem Maß durch kontrollierte Prozesse moduliert werden, die durch eine oberflächliche Wortverarbeitung eingeschränkt werden. Sowohl Benennungslatenzen für den Probe als auch die Modulation der N400 stellen zuverlässigere Indikatoren für automatische semantische Verarbeitungsprozesse dar.
3. Das Einfärben und räumliche Markieren eines Einzelbuchstabens im Stroop-Paradigma ist kein geeignetes Equivalent zur Buchstabensuchaufgabe im Bahnungs-Paradigma. Während Buchstabensuche Prozesse der Wortverarbeitung beeinflusst, erhöhen Einzelbuchstaben-Manipulationen im Stroop-Paradigma die Reizkomplexität und damit den Verarbeitungsaufwand für neutrale Stroop-Reize.
4. Semantische Aktivierung ist insofern von der Verarbeitungstiefe unabhängig und automatisch, als dass sie auch dann schnell und unwillkürlich erfolgt, wenn Aufmerksamkeit auf orthographische Wortaspekte gelenkt wird.

4 Literatur

- Becker, C. A. (1980). Semantic context effects in visual word recognition: An analysis of semantic strategies. *Memory & Cognition*, 8, 493-512.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 343-355.
- Besner, D. (2001). The myth of ballistic processing: Evidence from Stroop's paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 324-330.
- Besner, D., & Stolz, J. A. (1999a). Context dependency in Stroop's paradigm: When are words treated as nonlinguistic objects? *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 53, 375-380.
- Besner, D., & Stolz, J. A. (1999b). What kind of attention modulates the Stroop effect? *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 99-104.
- Besner, D. & Stolz, J. A. (1999c). Unconsciously controlled processing: The Stroop effect reconsidered. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 449-455.
- Besner, D., Stolz, J. A., & Boutilier, C. (1997). The Stroop effect and the myth of automaticity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 221-225.
- Catena, A., Fuentes, L. J., & Tudela, P. (2002). Priming and interference effects can be dissociated in the Stroop task: New evidence in favor of the automaticity of word recognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 113-118.
- Chiappe, P. R., Smith, M. C., & Besner, D. (1996). Semantic priming in visual word recognition: Activation blocking and domains of processing. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3, 249-253.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82, 407-428.
- Darymple-Alford, E. C. (1972). Associative facilitation and interference in the Stroop color-word task. *Perception and Psychophysics*, 11, 274-276.
- Deacon, D., Hewitt, S., Yang, C., & 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.

- Deacon, D., Uhm, T. J., Ritter, W., Hewitt, S., & Dynowska, A. (1999). The lifetime of automatic semantic priming effects may exceed two seconds. *Cognitive Brain Research*, 9, 137-146.
- De Groot, A. M. B., Thomassen, A., & Hudson, P. (1986). Primed lexical decision: The effect of varying the stimulus-onset asynchrony of prime and target. *Acta Psychologica*, 61, 17-36.
- Dombrowski, J.-H., & Heil, M. (2005). Semantic activation, letter search and N400: A reply to Mari-Beffa, Valdes, Cullen, Catena and Houghton (2005). *Brain Research*, 1073-1074, 440-443.
- Draine, S. C., & Greenwald, A. G. (1998). Replicable unconscious semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127, 286-303.
- Drews, E., & Zwitserlood, P. (1995). Orthographic and morphological similarity in visual word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 1098-1116.
- Fischler, I. (1977). Associative facilitation without expectancy in a lexical decision task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 18-26.
- Friedrich, F. J. (1993). *Prime task effects on naming RTs*. [Paper presented at the 34th annual meeting of the Psychonomic Society, Washington, DC, November 1993]
- Friedrich, F. J., Henik, A., & Tzelgov, J. (1991). Automatic processes in lexical access and spreading activation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 792-806.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, 16, 142-149.
- Glaser, M. O., & Glaser, W. R. (1982). Time course analysis of the Stroop phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 875-894.
- Hagenaar, R., & Van der Heijden, A. H. C. (1986). Target-noise separation in visual selective attention. *Acta Psychologica*, 62, 161-176.
- 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, 825-827.

- Henik, A., Friedrich F. J., Tzelgov, J., & Tramer, S. (1994). Capacity demands of automatic processes in semantic priming. *Memory & Cognition*, 22, 157-168
- Hirshman, E., & Durante, R. (1992). Prime identification and semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 255-265.
- Hoffman, J., & MacMillan, F. (1985). Is semantic priming automatic? In M. I. Posner & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance XI* (pp. 585-600). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hutchison, K. A., Balota, D. A., Cortese, M. J., & Watson, J.M. (2008). Predicting semantic priming at the item level. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 1036-1066.
- Johnston, J. C., & McClelland, J. L. (1974). Perception of letters in words: Seek not and ye shall find. *Science*, 184, 1192-1194.
- Kahnemann, D., & Chajczyk, D. (1983). Tests of the automaticity of reading: dilution of Stroop effects by color-irrelevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 497-509.
- Kahnemann, D., & Henik, A. (1981). Perceptual organization and attention. In M. Kubovy, & J. R. Pomerantz (Eds.), *Perceptual organization* (pp.181-211). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kaye, D. B., & Brown, S. W. (1985). Levels and speed of processing effects on word analysis. *Memory & Cognition*, 13, 425-434.
- Keefe, D. E., & Neely, J. H. (1990). Semantic priming in the pronunciation task: The role of prospective prime-generated expectancies. *Memory & Cognition*, 18, 289-298.
- Kiefer, M., & Spitzer, M. (2000). Time course of conscious and unconscious semantic brain activation. *Neuroreport*, 11, 2401-2407.
- Klein, G. S. (1964). Semantic power measured though the interference of words with color-naming. *American Journal of Psychology*, 77, 576-588.
- Kutas, M. and Hillyard, S. A. (1989). An electrophysiological probe of incidental semantic association. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 38-49.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.

- MacLeod, C. M. (1998). Training on integrated versus separated Stroop tasks: The progression of interference and facilitation. *Memory & Cognition*, 26, 201-211.
- Manwell, L. A., Roberts, M. A., & Besner, D. (2004). Single letter coloring and spatial cuing eliminates a semantic contribution to the Stroop effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 458-462.
- Mari-Beffa, P., Estevez, A. F., & Danziger, S. (2000). Stroop interference and negative priming: Problems with inferences from null results. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7, 499-503.
- Mari-Beffa, P., Fuentes, L. J., Catena, A., & Houghton, G. (2000). Semantic priming in the prime task effects: evidence of automatic semantic processing of distractors. *Memory & Cognition*, 28, 635-647.
- Mari-Beffa, P., Houghton, G., Estevez, A. F., & Fuentes, L. J. (2000). Word-based grouping affects the prime-task effect on semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 469-479.
- Mari-Beffa, P., Valdes, B., Cullen, D. J., Catena, A., & Houghton, G. (2005). ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23, 293-305.
- Marmurek, H. H., Proctor, C., & Javor, A. (2006). Stroop-like serial position effects in color naming of words and nonwords. *Experimental Psychology*, 53, 105-110.
- Maxfield, L. (1997). Attention and semantic priming: A review of prime task effects. *Consciousness and Cognition*, 6, 204-218.
- Monahan, J. S. (2001). Coloring single Stroop elements: Reducing automaticity or slowing color processing? *Journal of General Psychology*, 128, 98-112.
- Neely, J. H. (1976). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Evidence for facilitatory and inhibitory processes. *Memory & Cognition*, 4, 648-654.
- Neely, J. H. (1977). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Roles of inhibitionless spreading activation and limited-capacity attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106, 226-254.
- Neely, J. H. (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* (pp.264-336). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Neely, J. H., & Kahan, T. A. (2001). Is semantic activation automatic? A critical re-evaluation. In H. L. Roediger, III (Ed.), *The nature of remembering: Essays in honor of R. G. Crowder* (pp.69-93). Washington, DC: APA.
- Neely, J. H., & Keefe, D. E. (1989). Semantic context effects on visual word processing: A hybrid prospective/retrospective processing theory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol.24 (pp.207-248). New York: Academic Press.
- Neely, J. H., & Keefe, D. E., & Ross, K. L. (1989). Semantic Priming in the Lexical Decision Task: Roles of Prospective Prime-Generated Expectancies and Retrospective Semantic matching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1003-1019.
- Parris, B. A., Sharma, D., & Weekes, B. (2007). An optimal viewing position effect in the Stroop task when only one letter is the color carrier. *Experimental Psychology*, 54, 273-280.
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975a). Facilitation and inhibition in the processing of signals. In P.M.A. Rabbitt, & S. Dornic (Eds.), *Attention and performance V* (pp.669-682). New York: Academic Press.
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975b). Attention and cognitive control. In R.L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: The Loyola Symposium* (pp. 55-83). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Reicher, G. M. (1969). Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 275-280.
- Rugg, M. D. (1985). The effects of semantic priming and word repetition on event-related potentials. *Psychophysiology*, 22, 642-647.
- Sharma, D., & McKenna, F. P. (1998). Differential components of the manual and vocal Stroop tasks. *Memory & Cognition*, 26, 1033-1040.
- 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.

- Smith, M. C., Theodor, L., & Franklin, P. E. (1983). The relationship between contextual facilitation and depth of processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 697-712.
- 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.
- Stolz, J. A., & Besner, D. (1998). Levels of representation in visual word recognition: a dissociation between morphological and semantic processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1643-1655.
- Stolz, J. A., & Besner, D. (1999). On the myth of automatic semantic activation in reading. *Current Directions in Psychological Science*, 8, 61-65.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Tse, C. S., & Neely, J. H. (2007). Semantic Priming From Letter-Searched Primes Occurs for Low- But Not High-Frequency Targets: Automatic Semantic Access May Not Be a Myth. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33, 1143-1161.

5 Einzelarbeiten

5.1 Experimente 1a, 1b und 1c

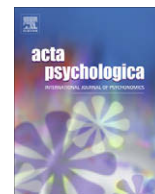
Küper, K., & Heil, M. (2008). Letter search does not affect semantic priming in a probe naming task. *Acta Psychologica*, 129, 325-331.

5.2 Experimente 2a und 2b

Küper, K., & Heil, M. Electrophysiology reveals semantic priming at a short SOA irrespective of depth of prime processing (manuscript under review).

5.3 Experiment 3

Küper, K., & Heil, M. Single letter coloring and spatial cuing reduces the Stroop effect but leaves semantic activation intact (manuscript submitted for publication).



Letter search does not affect semantic priming in a probe naming task

Kristina Küper*, Martin Heil

Heinrich-Heine-University, Institut für Experimentelle Psychologie, Universitätsstrasse 1, 40225 Düsseldorf, Germany

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 November 2007
Received in revised form 18 July 2008
Accepted 19 August 2008
Available online 2 October 2008

PsycINFO classification:

2300
2340

Keywords:

Automatic semantic activation
Semantic priming
Prime task effect
Letter search

ABSTRACT

The normally robust semantic priming effect observed in lexical decision is usually reduced to the point of being absent, when a letter search has to be performed on the prime. It has been argued that semantic activation is thus not an automatic process but rather cognitively controlled and therefore adaptable to task demands. We examined the effects of letter search priming on pronunciation times and found a reliable semantic priming effect, following letter search that was not affected at all relative to a standard condition, where participants silently read the prime. Thus the nature of the prime task did not seem to affect the processing mode employed, semantic access occurred even though attention was focused on surface properties of the prime.

© 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Semantic activation is widely believed to be obligatory in visual word recognition in that reading a word will automatically activate its meaning. There have been several attempts to conceptualize the underlying mechanisms, including the parallel distributed processing model by McClelland and Rumelhart (1986) and the network model by Collins and Loftus (1975), which we will use as the frame of reference for this study. According to Collins and Loftus (1975), reading a written word will automatically activate a lexical entry that matches its basic properties and that in turn activates a corresponding concept node on semantic level. Activation will then automatically spread from this concept node to related concept nodes within the semantic network. The network model is considered to be validated by one of the most robust and well-documented phenomena in cognitive psychology, the semantic priming effect (see Neely (1991) for a review). Subjects can name or perform a lexical decision on a probe word faster and more accurately if it is preceded by a related prime word as opposed to an unrelated or neutral word.

According to Neely and Keefe's (1989) three-process theory, semantic priming is best explained in terms of an interaction between an obligatory automatic process and two distinct cognitively controlled mechanisms: expectancy and retrospective semantic matching. With sufficient time and an awareness of

the associative relationship between prime and probe, subjects are thought to deliberately employ these two strategies to facilitate their probe response. Expectancy operates in both lexical decision and naming tasks and refers to the fact that subjects compile an expectancy set for the probe word on the basis of the prime word. Related probes are presumably part of this expectancy set and can thus be recognized more quickly than unrelated or neutral probes. In lexical decision tasks, an additional process called retrospective semantic matching operates on a post-lexical level. After lexical access to the prime but before making the lexical decision, subjects check whether prime and probe are semantically related. A semantic match biases a subsequent word response, while the absence of a semantic relation biases a non-word response. The notion of an additional process that is automatic in nature is supported by demonstrations of semantic priming at extremely short stimulus onset asynchronies (SOAs) that presumably do not allow for the implementation of cognitively controlled mechanisms (e.g., De Groot, Thomassen, & Hudson, 1986; Neely, 1976). Additionally semantic priming has been observed, when subjects were unaware of the associative relationship between prime and probe (e.g., Fischler, 1977) or even unaware of the mere presence of the prime itself (e.g., Draine & Greenwald, 1998; Hirshman & Durante, 1992). Under these conditions, the processing advantage for the related probe is thought to be generated chiefly by what Collins and Loftus (1975) labeled automatic spreading activation. Automatic spreading activation is often cited as a prime example of an automatic process in that it is fast acting, capacity free,

* Corresponding author. Tel.: +49 211 81 14566; fax: +49 211 81 13490.
E-mail address: kueper@uni-duesseldorf.de (K. Küper).

uncontrollable and can occur without intention or conscious awareness (Neely & Kahan, 2001).

This view has been challenged by studies combining the semantic priming paradigm with a letter search task. Smith (1979) was the first to report that the normally robust semantic priming effect disappeared when the prime word had to be searched for a target letter rather than read silently. Subsequent research further documented the absence or considerable attenuation of semantic priming after letter search across a variety of lexical decision paradigms that differed substantially in the composition of the stimulus lists and the parameters of item presentation (see Maxfield (1997), for a review). In contrast, both morphological priming (Stolz & Besner, 1998) and repetition priming (Friedrich, Henik, & Tzelgov, 1991) have been shown to be preserved under similar conditions. Stolz and Besner (1996) (See also, Stolz & Besner, 1998) concluded that letter search allows for lexical level activation, but initiates an activation block between the lexical and the semantic level that effectively prevents access to the semantic representation of the prime and thus the activation of related concepts. They conceptualize semantic word processing as merely the default mental set employed under standard reading conditions. If, however, attention is directed to other properties of the word, e.g. its orthographical makeup, a different processing strategy is adopted that does not include access to word meaning. An alternative account posits that some attention to the semantic level is necessary for semantic access to occur (Henik, Friedrich, Tzelgov, & Tramer, 1994; Smith, Bentin, & Spalek, 2001). The letter search task would thus reduce semantic priming by focusing limited attentional resources on the letter level. In both cases, semantic activation would appear to be under some cognitive and attentional control and would therefore not meet the criteria of an automatic process as outlined by Neely and Kahan (2001).

Still the question remains whether the absence or the attenuation of a semantic priming RT effect can really be equated with the absence of semantic activation itself. Any argument for the absence of an effect on the basis of null results must be treated with caution, as the measure used to quantify the effect, in this case lexical decision RTs, may simply not be sensitive enough to reveal the underlying processes. In some instances, researchers were able to find evidence of semantic activation after letter search despite the absence of overt RT priming effects. In a series of experiments combining the letter search task with negative priming procedures, Mari-Beffa and colleagues (Mari-Beffa, Fuentes, Catena, & Houghton, 2000; Mari-Beffa, Houghton, Estevez, & Fuentes, 2000) were able to acquire reliable indirect evidence for semantic activation. A study by Heil, Rolke and Pecchinenda (2004) (see also, Dombrowski & Heil, 2006) further demonstrated that a lack of RT priming effects is not synonymous with the absence of semantic activation. In keeping with prior research, lexical decision RTs yielded no semantic priming effects after letter search. The modulation of the N400, the event-related potential (ERP) correlate of semantic processing, however, clearly differentiated between related and unrelated probes, with unrelated probes producing a more negative-going waveform. Similarly, Mari-Beffa, Valdes, Cullen, Catena, and Houghton (2005) found ERP evidence of semantic processing after letter search in the absence of RT effects.

Since the data accumulated on this subject remain somewhat inconclusive, it is important to gather further evidence regarding the automaticity of semantic activation. As yet research has focused on the lexical decision paradigm as a means to determine the effects of letter search on semantic priming (see Tse and Neely (2007), for an overview). As noted above, three processes are thought to be active in a standard lexical decision priming paradigm: automatic spreading activation, expectancy and semantic matching. In the context of investigating automatic priming mechanisms, it might prove more effective to use an alternative para-

digm, the naming task. Contrary to lexical decision times, naming times are not contaminated by the influences of the semantic matching strategy. While a semantic match between prime and probe may encourage a word response in a lexical decision task, it does not give clues as to how the probe is pronounced in a naming task. Any priming effects found in a naming task are thus thought to reflect a combination of automatic spreading activation and expectancy mechanisms. In this study, we analysed probe pronunciation times with respect to two different prime tasks: letter search vs. silent reading. In keeping with prior research, we expected evidence of semantic priming, that is shorter RTs to related probes, when subjects had to read the prime. A comparable semantic priming effect in the letter search condition would indicate that subjects engaged in semantic processing irrespective of the nature of the prime task.

2. Experiment 1

2.1. Method

2.1.1. Subjects

Fifty one volunteers (6 male, age range: 22–42 years) participated in this experiment in exchange for 5 Euro. All participants reported normal or corrected-to-normal vision, and were native German speakers or had been living in Germany for 25 years (1 participant). All participants were naïve with regard to the purpose of this study. Data from one participant had to be discarded due to an excessive amount of errors (>10 SDs above participants' mean).

2.1.2. Stimuli

Four hundred four- to six-letter German nouns were selected from the database *Projekt Deutscher Wortschatz* (wortschatz.uni-leipzig.de) to serve as stimuli (see <http://corpora.informatik.uni-leipzig.de/> for an English language equivalent). Items had a mean frequency of 11.3 (range: 6–16), signifying that their average word frequency was 2^{11.3} times lower than that of the most frequent German word in the database, the definite article 'der'. To illustrate: 'Prozent' (percent) is the most frequent German noun in the database and has a frequency of 4.0. Stimuli were compiled into 200 associatively and semantically related word pairs on the basis of their significant co-occurrence in sentence contexts as provided by the *Projekt Deutscher Wortschatz* database (see Biemann, Bordag, Heyer, Quasthoff, & Wolff, 2004), for an overview of the statistical procedures involved). The Appendix provides a complete list of prime – probe pairs and their word frequency. For each participant, the stimuli were randomly divided into two sets of 100 word pairs. One set remained in its original related form. Unrelated word pairs were constructed by randomly recombining the related pairs within the second stimulus set. The distribution of the 400 word stimuli to related and unrelated word pairs was thus varied between participants. Each participant was presented with the same 400 words, but with different related and unrelated word pairs. No word was ever repeated. This procedure seemed prudent in light of the lack of up-to-date and comprehensive association norms in German that preclude a reliable assessment of association strengths for the prime-probe pairs. By randomly reassigning the stimulus pairs to the related and unrelated conditions, we hoped to ensure that the potential results were valid and not merely artifacts of the association strength in particular stimulus pairings. As items were randomized across participants and conditions, we can assume that possible priming effects can be generalized across the entire stimulus set, allowing us to forgo an F2 analysis.

An additional 24 related and 24 unrelated word pairs were constructed in a similar fashion as described above to serve as practice stimuli.

2.1.3. Procedure

Stimulus presentation and response acquisition were controlled by the Presentation software running on an IBM-compatible computer. Stimuli were presented on a standard 19" CRT-monitor and subtended a visual angle of approximately $0.88\text{--}1.32 \times 0.35$ degree each. Vocal responses were recorded using a Sennheiser pc140 headset microphone. All participants were tested individually in a dimly lit room. Instructions were displayed visually onscreen and supplemented by the experimenter. Before the start of the experiment, participants had to complete 48 practice trials in order to get acquainted with their task.

In the main experiment, participants were presented with 100 related and 100 unrelated word pairs. Each trial began with the presentation of a prime display that consisted of the first word of a pair presented in uppercase letters and an uppercase target letter that was replicated above each letter of this prime word (vertical distance = 0.57 of visual angle). When the prime word contained the target letter, as was the case in half of the trials, it was drawn equally often from the beginning, middle and end of the word. Following the prime display, the second word in the stimulus pair was presented in lowercase as the probe.

Participants were divided into two experimental groups with different prime tasks (*letter search* vs. *read*). Participants in the *letter search* group had to decide whether the target letter was present in the prime by pressing either the left or the right button on a reaction box as quickly as possible. Participants in the *read* group were instructed to silently read the prime word and ignore the target letter string. Both experimental groups then had to read out the probe word as quickly as possible. Assignment of response buttons for the prime response in the *letter search* group was counterbalanced across participants. The task was self-paced with participants initiating eight consecutive trials by pressing a third key on the reaction box.

On a given trial the prime display was presented for 1300 ms. If participants in the *letter search* group responded before the expiration of 1300 ms, a fixation cross ('+') replaced the prime display for the remainder of its presentation time. Following the prime display, a fixation cross appeared on screen for 200 ms. The probe word was then presented until participants responded, but for a maximum of 1000 ms. If participants failed to respond within 1000 ms, the probe was replaced with a fixation cross that remained onscreen until a vocal response occurred. The inter trial interval varied randomly between 1500 and 2000 ms.

2.2. Results

RT analysis was conducted only for trials with a correct and accurately recorded probe response. Due to malfunctions of the recording equipment, 1.39% of the data had to be discarded. To ensure that participants had actually performed a letter search, analysis in the *letter search* group was further restricted to trials with a correct prime task response, resulting in 10.36% of the data being discarded (subjects produced a similar amount of false "yes"- and "no"-responses. A statistical analysis that included trials with an incorrect prime response yielded similar results). The average time taken to successfully complete the letter search task on the prime was 820 ms. In both subject groups, trials with probe RTs more than 2 SDs below or above the mean per condition (*related* vs. *unrelated*) and participant were excluded from further analysis. This trimming procedure resulted in a further 4.09% of the overall data being discarded.

Table 1 shows mean RTs and error rates for the *read* and *letter search* groups. Naming RTs did not differ between the *letter search* and the *read* groups ($F(1, 48) = 0.09, p > .76$). In both groups a reliable 9 ms semantic priming effect was found with participants responding faster to probes related to the preceding prime word

Table 1

Mean probe reaction times (M), standard deviations (SD) and percentages of errors (E%) in the read and letter search conditions of experiments 1, 2 and 3

Probe Task	Prime Task	Condition	M	SD	E%
Exp. 1: Naming	Read	Related	520	54	0.7
		Unrelated	529	53	1.3
	Letter Search	Related	515	69	1.4
		Unrelated	524	68	1.3
Exp. 2: Naming	Letter Search	Related	520	59	1.4
		Unrelated	529	71	2.2
Exp. 3: Lexical Decision	Read	Related	537	66	2.1
		Unrelated	573	64	4.6
	Letter Search	Related	544	62	2.0
		Unrelated	563	56	3.8

than to unrelated probes ($F(1,48) = 28.36, p < .0001$). This effect was found to be reliable for both the *letter search* ($F(1,24) = 17.89, p < .0003$) and the *read* groups ($F(1, 24) = 12.06, p < 0.002$), and did not differ between these two ($F(1, 48) = 0.04, p > 0.85$).

Error rates differed neither between related and unrelated trials ($F(1,48) = 1.38, p > .24$) nor between the *read* and the *letter search* groups ($F(1,48) = 0.58, p > .44$).

2.3. Discussion

We found a small but significant 9 ms semantic priming effect for both the *read* group and the *letter search* groups, that did not differ between the two groups. The small size of the effect is in line with prior research that found RT priming effects in the pronunciation task to be numerically small and attenuated relative to priming effects in the lexical decision task (e.g., Lupker, 1984; Seidenberg, Waters, Sanders, & Langer, 1984). In the context of prime task research, Hutchison and Bosco (2007) recently reported a significant 14 ms priming effect in a probe naming task and could furthermore demonstrate that this effect was modulated by prime task. It thus appears as though participants in the *letter search* group processed the meaning of the prime, although the prime task directed attention to the letter level and did not require semantic access. In order to avoid confounding prime task with SOA, however, we used a fixed SOA of 1500 ms in both conditions. For the letter search condition, this raises a problem. It took participants on average 820 ms to search the prime for a target letter, leaving a subsequent 680 ms before the probe appeared. Most studies that did not find RT priming effects after letter search, however, employed a flexible SOA, where probe presentation was triggered by the prime response (e.g., Mari-Beffa et al., 2000; Stolz & Besner, 1996, 1998). It is conceivable that participants in our study used the additional time afforded by the fixed SOA to reanalyse the prime for meaning, which might have given rise to the semantic priming effects we measured in the probe naming RTs.

To rule out the possibility that the priming effects in the *letter search* condition were the result of such intentional semantic processing that was inflated relative to previous prime task experiments, we conducted a second experiment. In Experiment 2, we employed a procedure similar to that of Stolz and Besner (1998) in that the SOA was not fixed but varied depending on the time it took participants to complete letter search on the prime.

3. Experiment 2

3.1. Method

3.1.1. Subjects

Twenty seven volunteers (3 male, age range: 19–36 years) participated in this experiment in exchange for course credit. All par-

ticipants reported normal or corrected-to-normal vision, were native German speakers and were naïve with regard to the purpose of this study. Data from two participants had to be discarded due to high error rates.

3.1.2. Stimuli

The word stimuli used were identical to those in Experiment 1.

3.1.3. Procedure

Procedure was the same as used for the *letter search* group in Experiment 1, with the exception of the prime – probe SOA. Instead of the fixed SOA of 1500 ms employed in Experiment 1, the SOA in Experiment 2 varied depending on prime reaction time. On a given trial, the prime display was presented for a maximum of 1300 ms. As soon as participants gave a letter search response, the prime display was immediately replaced with a fixation cross that remained on screen for 200 ms. The probe word was then presented until participants responded but for a maximum of 1000 ms. If participants failed to respond within 1000 ms, the probe was replaced with a fixation cross that remained onscreen until a vocal response occurred. The inter trial interval varied randomly between 1500 and 2000 ms.

3.2. Results

RT analysis was conducted only for trials with a correct and accurately recorded probe response. Due to malfunctions of the recording equipment, 2.9% of the data had to be discarded. On account of incorrect prime task responses, 12.62% of the data were discarded (subjects produced a similar amount of false “yes”- and “no”-responses. A statistical analysis that included trials with an incorrect prime response yielded similar results). The average time taken to successfully complete the letter search task on the prime was 862 ms. Trials with probe RTs more than 2 SDs below or above the mean per condition (*related* vs. *unrelated*) and participant were excluded from further analysis. This trimming procedure resulted in a further 3.34% of the data being discarded.

A reliable 9 ms semantic priming effect was found with participants responding faster to probes related to the preceding prime word than to unrelated probes ($F(1, 24) = 5.64, p < .026$). A comparison with the data collected in Experiment 1 revealed no significant difference between the two *letter search* groups regarding both general naming RTs ($F(1, 48) = 0.07, p > 0.7880$) and the magnitude of the priming effect ($F(1, 48) = 0.00, p > 0.9857$). Similarly, the *read* group of Experiment 1 and the present *letter search* group were comparable with respect to naming RTs ($F(1, 48) = 0.00, p > .99$) as well as the magnitude of the priming effect ($F(1, 48) = 0.03, p > 0.87$).

Error rates did not differ significantly between related and unrelated trials ($F(1, 24) = 3.81, p > .06$).

3.3. Discussion

In Experiment 2, we again found a significant 9 ms semantic priming effect after letter search. We could thus replicate the results of Experiment 1 despite using a different prime – probe SOA. In Experiment 1, the SOA was fixed at 1500 ms regardless of when participants completed letter search on the prime, whereas in Experiment 2 it was flexible, as is the standard in prime task experiments, with the probe being presented 200 ms after participants had given their letter search response. As both experiments yielded comparable priming effects, we can rule out the possibility that the letter search priming found in Experiment 1 was merely due to the fixed SOA that afforded participants more time than usual in prime task experiments

to reanalyse the prime for meaning after the letter search task had been completed. This conclusion is strengthened by prior research, which has shown that participants in letter search tasks generally do not tend to reanalyse the prime for meaning, even when given sufficient time. Priming effects were not reinstated when 770 ms (Smith, Theodor, & Franklin, 1983) or more (Mari-Beffa et al., 2005) elapsed between the letter search response and the presentation of the probe.

Any meaningful conclusions drawn from the results of Experiments 1 and 2 will be based on the assumption that intact semantic priming after letter search is exclusive to the naming task. We would expect semantic priming to be significantly reduced or even eliminated if participants were to perform a lexical decision on our probe stimuli. Albeit Experiment 2 minimized procedural differences between our study and prior letter search experiments, it is still unclear whether this assumption is really feasible. Tse and Neely (2007) could demonstrate that stimulus properties such as word frequency exert a substantial influence on semantic priming processes in general and the prime task effect in particular. The lack of comprehensive German association norms makes it especially difficult to assess whether the results of Experiments 1 and 2 can really be generalized beyond our particular set of word stimuli. In Experiment 3, we therefore replicated Experiment 1 with the standard probe task in letter search experiments, the lexical decision task.

4. Experiment 3

4.1. Method

4.1.1. Subjects

Fifty seven volunteers (15 male, age range: 20–42 years) participated in this experiment in exchange for course credit or 5 Euro. All participants reported normal or corrected-to-normal vision, were native German speakers and were naïve with regard to the purpose of this study. Data from seven participants had to be discarded due to high error rates.

4.1.2. Stimuli

The word stimuli used for the related and the unrelated prime-probe pairs were identical to those used in Experiments 1 and 2. The probe lexical decision task required the inclusion of word-non-word pairs. To this end, an additional 200 German nouns were selected from the database *Projekt Deutscher Wortschatz* to serve as primes in word-non-word pairs. The new stimuli matched the 200 prime words used in Experiments 1 and 2 in word length and frequency (11.3; range: 6–16). 200 pronounceable non-words, that matched the probe words of Experiments 1 and 2 in word length, were created out of another 200 German nouns by changing one letter. The word-word pairs already employed in Experiments 1 and 2 were randomized in the same fashion as in the prior experiments. For each participant, the stimuli were randomly divided into two sets of 100 prime-probe pairs. One set remained in its original related form. Unrelated prime – probe pairs were constructed by randomly recombining the related pairs within the second stimulus set.

4.1.3. Procedure

Participants were divided into two experimental groups with different prime tasks (*letter search* vs. *read*). Procedure was the same as in Experiment 1, with the exception of the probe task. Instead of naming the probe words, participants had to perform a lexical decision by pressing either the left or the right button on a reaction box. Assignment of response buttons was counterbalanced across participants.

4.2. Results

RT analysis was conducted only for trials with a correct probe response. On account of incorrect prime task responses, 7.28 % of the data were discarded (subjects produced a similar amount of false “yes”- and “no”-responses. A statistical analysis that included trials with an incorrect prime response yielded similar results). For the *letter search* group, the average time taken to successfully complete the prime task was 804 ms. Trials with probe RTs more than 2 SDs below or above the mean per condition (*related* vs. *unrelated*) and participant were excluded from further analysis. This trimming procedure resulted in a further 4.57 % of the data being discarded.

Naming RTs did not differ between the *letter search* and the *read* groups ($F(1, 48) = 0.00, p > .94$). Both prime task groups showed semantic priming effects with participants responding faster to probes related to the preceding prime word than to unrelated probes ($F(1, 48) = 95.47, p < .0001$). The effect was reliable in both the *read* ($F(1, 24) = 64.85, p < .0001$) and the *letter search* groups ($F(1, 24) = 30.85, p < .0001$). A significant interaction between prime task and relatedness ($F(1, 48) = 9.13, p < .004$) was due to a substantially larger priming effect of 36 ms in the *read* group compared to 19 ms in the *letter search* group.

Error rates did not differ between the two prime task groups ($F(1, 48) = 0.43, p > .51$). Again, both prime task groups showed semantic priming effects with participants responding more accurately to probes related to the preceding prime word than to unrelated probes ($F(1, 48) = 38.41, p < .0001$). The effect was reliable in both the *read* ($F(1, 24) = 26.19, p < .0001$) and the *letter search* groups ($F(1, 24) = 13.29, p < .0013$) and was not modulated by prime task ($F(1, 24) = 1.11, p > .29$).

4.3. Discussion

We were able to replicate the standard prime task effect in lexical decision times. A significant 36 ms semantic priming effect after silent reading of the prime was substantially reduced to 19 ms, when a letter search had to be performed on the prime. This confirms what prior research has already shown. In the context of a probe lexical decision task, the letter search prime task will diminish semantic priming effects relative to a semantic prime task (Henik et al., 1994; Kaye & Brown, 1985). The preservation of priming after letter search observed in Experiments 1 and 2 thus appears to be contingent on the probe naming task employed. We tested this hypothesis in a combined analysis of Experiments 1 and 3, and indeed found a significant three-way interaction of prime task, probe task and relatedness ($F(1, 96) = 7.73, p < .0065$).

Contrary to Experiments 1 and 2, we found significant semantic priming effects in the accuracy data with participants in both prime task conditions making less errors in related than in unrelated trials. This accuracy priming effect was not modulated by prime task, a finding that is not uncommon in prime task research (e.g., Friedrich et al., 1991; Henik et al., 1994; Smith et al., 2001) and that might indicate that error rates are generally less susceptible to prime task manipulations than reaction times.

5. General discussion

The automaticity of semantic activation has been called into question in response to experiments combining the lexical decision priming paradigm with a letter search task. The absence or the attenuation of semantic priming RT effects after letter search ostensibly proves that semantic activation is not an inevitable consequence of reading, but can be voluntarily controlled and adapted to task demands. Such a conclusion is only warranted, however, if

the lack of overt RT priming effects can really be equated with the absence of semantic activation itself. This rather broad concern is substantiated by ERP studies that found evidence of semantic access after letter search in ERP modulations but not in lexical decision times (Heil et al., 2004; Mari-Beffa et al., 2005).

In this study, we addressed this issue by examining letter search priming in a probe naming task, which has rarely been used in this particular field of research. In Experiment 1, we compared pronunciation times for probes in two participant groups: one silently read a prime word, whereas the other group performed a letter search on the prime. Irrespective of prime task, participants were able to name probes that were semantically related to the preceding prime word significantly faster than probes that were not. We found a small but highly reliable 9 ms semantic priming effect for both the *read* and the *letter search* group, that did not differ between the two groups. The small size of the effect was to be expected, since prior research indicates that RT priming effects in the pronunciation task are generally small, especially when compared with those in the lexical decision task (e.g., Hutchison & Bosco, 2007; Lupker, 1984; Seidenberg et al., 1984). In Experiment 2, we replicated this priming effect and ascertained that it was also present when a flexible prime-probe SOA was employed that afforded participants less time to reanalyse the prime for meaning after letter search had been completed. In Experiment 3, we demonstrated that this pattern of results was exclusive to the probe naming task. When participants had to perform a lexical decision on our probe stimuli, letter search yielded a 19 ms semantic priming effect that was substantially reduced relative to a prime reading condition (36 ms). The difference in the magnitude of the priming effects between the naming tasks in Experiments 1 and 2, and the lexical decision task in Experiment 3 seems striking but may be a result of the short probe stimuli used in this study. Hutchison, Balota, Cortese, and Watson (2008) could recently show that probe length had opposing effects on the magnitude of semantic priming in naming and lexical decision tasks. Short probes increased priming effects in the lexical decision tasks but decreased them in naming tasks. In a combined analysis of Experiments 1 and 3, we found that the three-way interaction of prime task, probe task and relatedness was significant ($F(1, 96) = 7.73, p < .0065$), illustrating that it was indeed the nature of the probe task that determined whether semantic priming was attenuated by letter search.

The semantic priming effect observed in naming RTs of the *letter search* group indicates that semantic activation did indeed occur, even though the prime task focused attention on the letter level of word processing and thus did not necessitate access to word meaning. The present results are therefore incompatible with the activation block account outlined by Stolz and Besner (1996) (see also, Stolz & Besner, 1998) which predicts that focusing attention on the non-semantic properties of a word will initiate an activation block between the lexical level and the semantic level that prevents semantic activation. An alternative account by Smith et al. (2001) conceptualizes semantic activation as a gradual rather than an all-or-nothing process and assumes that the degree of semantic activation is dependent on the amount of attentional resources that are allocated to the critical semantic stimulus features. Even though the idea of a continuum in the degree of possible automaticity has been argued by numerous researchers (e.g., Hoffman & MacMillan, 1985; Kahnemann & Chajczyk, 1983), it can also not sufficiently explain the present data as the priming effect in the *letter search* group was not diminished in comparison to the *read* group. The naming RTs acquired in the present experiment thus give no indication whatsoever that the attentional manipulation implemented in the prime task affected the amount of semantic processing performed on the prime word.

As such the results of the probe naming task of Experiments 1 and 2, contrast substantially with those of the lexical decision task

employed in Experiment 3 and in most prior prime task research (see Tse and Neely, 2007, for an overview). In the context of a lexical decision task on the probe, letter search on the prime significantly reduces (Henik et al., 1994; Kaye & Brown, 1985) or even eliminates (Friedrich et al., 1991; Smith et al., 2001) semantic priming effects. According to Neely and Keefe's (1989) three-process model, semantic priming results from the interaction of automatic semantic activation with two strategic processes, expectancy and semantic matching. Priming effects in the lexical decision and the naming task supposedly differ with respect to the degree of involvement of these cognitively controlled mechanisms. Whereas semantic matching plays an important role in lexical decision priming, it does not contribute to priming in naming tasks (Keefe & Neely, 1990; Neely, Keefe, & Ross, 1989). If letter search were to selectively interfere with the semantic matching mechanism, it would reduce priming effects in lexical decision tasks but leave them intact in naming tasks, as was observed in this study. Alternatively, it is conceivable that letter search impedes both semantic matching and expectancy, and that expectancy mechanisms only played a negligible role in our study. According to Tse and Neely (2007), the involvement of expectancy mechanisms in semantic priming is contingent on the word frequency of probes. In a lexical decision task, the authors could recently show preserved priming after letter search for low-frequency but not for high-frequency probe words. Tse and Neely (2007) hypothesised that letter search eliminates both expectancy and semantic matching but that expectancy contributes to priming only for high-frequency probes, whereas semantic matching operates only for low-frequency probes. If we had employed only low-frequency probes in this study, expectancy would thus only have had a negligible influence on the priming process. Any impediment of expectancy caused by letter search would therefore not have been visible in the data obtained. For this study, however, we can rule out this possibility, since the stimuli employed ranged across a wide variety of word frequencies. In addition, an accidental accumulation of low-frequency probes in any of the experimental conditions would have been prevented by the randomizing procedure across participants and conditions. The most feasible explanation of the present data is thus, that letter search left both automatic spreading activation and expectancy intact, both of which mediated semantic priming in the naming task, and selectively impeded semantic matching which led to an attenuation of the priming effect in the lexical decision task.

To our knowledge, the only other published study¹ to investigate priming after letter search in naming RTs is that of Hutchison and Bosco (2007). They included bias words that were related to the concepts of presence or absence in the prime stimulus list and could show that these significantly influenced letter search responses, thus demonstrating semantic access to the prime word. In contrast to our data, however, the authors did not find any additional evidence of this semantic activation in the naming latencies for the probe. When the prime had to be named, probe naming RTs showed a significant 14 ms priming effect that was reduced to a nonsignificant 2 ms in the letter search condition. This conflicting result can be attributed to a number of procedural differences to this study. The difference in prime tasks (silent reading in our study vs. naming in Hutchison & Bosco, 2007) might be a factor, as it is conceivable that pronouncing a word produces stronger semantic activation than silently reading it. Additionally, the prime-probe pairs used in our study appear to have had both less association strength and a wider range of word frequencies than those employed by Hutchison and Bosco (2007). As noted above, the involvement of expectancy and

semantic matching mechanisms in priming tasks has been shown to be contingent on the nature of the stimulus material used (Tse & Neely, 2007). It is thus feasible that differences in the stimulus material led to a differential involvement of these processes and hence different result patterns. Still the question remains why we found a significant semantic priming effect after letter search in this study, whereas Hutchison and Bosco (2007) did not. This question is especially significant as it pertains to the prime task research as a whole. Irrespective of probe task, letter search has been shown to either severely reduce (this study; Henik et al., 1994; Kaye & Brown, 1985) or completely eliminate semantic priming (Friedrich et al., 1991; Hutchison & Bosco, 2007; Smith et al., 2001). If, as we have hypothesised, letter search impedes semantic matching but leaves expectancy and most importantly automatic spreading activation intact, a certain amount of semantic priming should always be present after letter search. It is, however, conceivable that the RT effect of spreading activation is fragile, a claim substantiated by the fact that ERP measures could show semantic priming after letter search, where RT measures could not (Heil et al., 2004; Mari-Beffa et al., 2005). The detection of such frail spreading activation priming may be contingent on the experimental design and stimulus list employed. Hutchison et al. (2008) recently identified a considerable number of factors beyond association strength that determine the magnitude of the semantic priming effect. As item characteristics such as word length, word frequency and orthographic neighbourhood density play an important role in the modulation of priming processes, the authors caution against comparing priming data across different item sets. With regard to this study, it is thus feasible that the composition of the stimulus list in combination with the item randomization procedure may have strengthened the experimental design in such a way as to enable us to record an otherwise elusive effect of spreading activation after letter search.

In conclusion, our data demonstrated that a prime word activated its meaning, i.e. gave rise to semantic activation, even though attention was allocated to the letter level as a letter search had to be performed. In fact, the resulting semantic priming effect was of the same magnitude as that following silent reading of the prime, indicating that the nature of the prime task had no effect on the manner of word processing employed. As such, our study substantiates the claim that automatic semantic activation should not be dismissed as a myth on the basis of null results. Since naming RTs reflected undiminished priming effects, where lexical decision RTs did not, it is feasible that letter search on the prime selectively impedes the semantic matching mechanism which only operates in lexical decision tasks.

Acknowledgements

This study was supported by the German Research Foundation. We thank Jan-Henryk Dombrowski for programming the necessary Presentation scenarios, and Hedda Schumm-Sprenger, Susanne Voigt and Inga Schalinski for their help during data acquisition. We thank Keith Hutchison and Dominiek Sandra for helpful comments.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at doi:10.1016/j.actpsy.2008.08.009.

References

- Biemann, C., Bordag, S., Heyer, G., Quasthoff, U., & Wolff, C. (2004). Language-independent methods for compiling monolingual lexical data, LING 2004, Seoul, Korea). In A. Gelbukh (Ed.). *Computational linguistics and intelligent text processing* (Proc. Cic Lecture notes in Computer science, Vol. 2945, pp. 217–228). Berlin, Heidelberg: Springer.

¹ Friedrich (1993) did assess the effects of differing prime tasks on naming RTs and reported semantic priming after a lexical decision, but not after letter search on the prime. The results, however, were never published.

- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82, 407–428.
- De Groot, A. M. B., Thomassen, A., & Hudson, P. (1986). Primed lexical decision: The effect of varying the stimulus-onset asynchrony of prime and target. *Acta Psychologica*, 61, 17–36.
- Dombrowski, J. H., & Heil, M. (2006). Semantic activation, letter search and N400: A reply to Mari-Beffa, Valdes, Cullen, Catena and Houghton (2005). *Brain Research*, 440–443.
- Draine, S. C., & Greenwald, A. G. (1998). Replicable unconscious semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127, 286–303.
- Fischler, I. (1977). Associative facilitation without expectancy in a lexical decision task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 18–26.
- Friedrich, F. J. (1993). Prime task effects on naming RTs. Paper presented at the 34th annual meeting of the Psychonomic Society, Washington, DC, November 1993.
- Friedrich, F. J., Henik, A., & Tzelgov, J. (1991). Automatic processes in lexical access and spreading activation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 792–806.
- 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, 825–827.
- Henik, A., Friedrich, F. J., Tzelgov, J., & Tramer, S. (1994). Capacity demands of automatic processes in semantic priming. *Memory and Cognition*, 22, 157–168.
- Hirshman, E., & Durante, R. (1992). Prime identification and semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 255–265.
- Hutchison, K. A., Balota, D. A., Cortese, M. J., & Watson, J. M. (2008). Predicting semantic priming at the item level. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 1036–1066.
- Hutchison, K. A., & Bosco, F. A. (2007). Congruency effects in the letter search task: Semantic activation in the absence of priming. *Memory and Cognition*, 35, 514–525.
- Hoffman, J., & MacMillan, F. (1985). Is semantic priming automatic? In M. I. Posner & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance XI* (pp. 585–600). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kahnemann, D., & Chajczyk, D. (1983). Tests of the automaticity of reading: dilution of Stroop effects by color-irrelevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 497–509.
- Kaye, D. B., & Brown, S. W. (1985). Levels and speed of processing effects on word analysis. *Memory and Cognition*, 13, 425–434.
- Keefe, D. E., & Neely, J. H. (1990). Semantic priming in the pronunciation task: The role of prospective prime-generated expectancies. *Memory and Cognition*, 18, 289–298.
- Lupker, S. J. (1984). Semantic priming without association: A second look. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 709–733.
- Mari-Beffa, P., Fuentes, L. J., Catena, A., & Houghton, G. (2000). Semantic priming in the prime task effects: evidence of automatic semantic processing of distractors. *Memory and Cognition*, 28, 635–647.
- Mari-Beffa, P., Houghton, G., Estevez, A. F., & Fuentes, L. J. (2000). Word-based grouping affects the prime-task effect on semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 469–479.
- Mari-Beffa, P., Valdes, B., Cullen, D. J., Catena, A., & Houghton, G. (2005). ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23, 293–305.
- Maxfield, L. (1997). Attention and semantic priming: A review of prime task effects. *Consciousness and Cognition*, 6, 204–218.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (Eds.). (1986). *Parallel distributed processing explorations in the microstructure of cognition. Psychological and biological models* (Vol. 2). Cambridge MA: MIT Press.
- Neely, J. H. (1976). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Evidence for facilitatory and inhibitory processes. *Memory and Cognition*, 4, 648–654.
- Neely, J. H. (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* (pp. 264–336). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Neely, J. H., & Kahan, T. A. (2001). Is semantic activation automatic? A critical re-evaluation. In H. L. Roediger, III (Ed.), *The nature of remembering: Essays in honor of R. G. Crowder* (pp. 69–93). Washington, DC: APA.
- Neely, J. H., & Keefe, D. E. (1989). Semantic context effects on visual word processing: A hybrid prospective/retrospective processing theory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 24, pp. 207–248). New York: Academic Press.
- Neely, J. H., Keefe, D. E., & Ross, K. L. (1989). Semantic priming in the lexical decision task: Roles of prospective prime-generated expectancies and retrospective semantic matching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1003–1019.
- Projekt Deutscher Wortschatz, 2005. <<http://wortschatz.uni-leipzig.de/>> [Retrieved February].
- Seidenberg, M. S., Waters, G., Sanders, M., & Langer, P. (1984). Pre- and post-lexical loci of contextual effects on word recognition. *Memory and Cognition*, 12, 315–328.
- Smith, M. C. (1979). Contextual facilitation in a letter search task depends on how the prime is processed. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 239–251.
- 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.
- Smith, M. C., Theodor, L., & Franklin, P. E. (1983). The relationship between contextual facilitation and depth of processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 697–712.
- 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.
- Stolz, J. A., & Besner, D. (1998). Levels of representation in visual word recognition: a dissociation between morphological and semantic processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1643–1655.
- Tse, C. S., & Neely, J. H. (2007). Semantic priming from letter-searched primes occurs for low- but not high-frequency targets: Automatic semantic access may not be a myth. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, in press.

Electrophysiology reveals semantic priming at a short SOA irrespective of depth of prime processing

Kristina Küper & Martin Heil

Heinrich-Heine-University, Düsseldorf, Germany

Page count: 18

Number of figures: 1

Number of tables: 1

Corresponding author: Kristina Küper

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Institut für Experimentelle Psychologie

Universitätsstr. 1

40225 Düsseldorf, Germany

phone: ++49-211-81-14566

fax: ++49-211-811-3490

E-mail: kueper@uni-duesseldorf.de

URL: <http://www.psych.uni-duesseldorf.de/abteilungen/a-p>

Key words

Automatic semantic activation; Spreading activation; Semantic priming; Prime task effect;

Letter search; N400

Abstract

The otherwise robust behavioral semantic priming effect is reduced to the point of being absent when a letter search has to be performed on the prime word. As a result the automaticity of semantic activation has been called into question. It is unclear, however, in how far automatic processes are even measurable in the letter search priming paradigm as the prime task necessitates a long prime-probe SOA. In a modified procedure, a short SOA can be realized by delaying the prime task response until after participants have made a lexical decision on the probe. While the absence of lexical decision priming has already been demonstrated in this design it seems premature to draw any definite conclusions from this purely behavioral result since ERP measures have been shown to be a more sensitive index of semantic activation. Using the modified paradigm we thus recorded ERP in addition to lexical decision times. Stimuli were presented at two different SOAs (240 ms vs. 840 ms) and participants performed either a grammatical discrimination (Experiment 1) or letter search (Experiment 2) on the prime. The modulation of the N400, the ERP correlate of semantic activation, provided clear-cut evidence of semantic processing irrespective of prime task and SOA. Implications for theories of semantic activation as well as the constraints of the delayed prime task procedure are discussed.

Introduction

The semantic priming effect is one of the most robust and well researched phenomena in cognitive psychology [see 18, for a review]: Participants can perform a lexical decision on a probe word faster and more accurately if it is preceded by a related prime word as opposed to an unrelated or neutral word. The event related potential (ERP) component corresponding to this RT effect is the N400, a negative deflection with a centro-parietal maximum that peaks at approximately 400 ms after stimulus-onset. In the context of single word priming paradigms the N400 has been shown to be attenuated for related probes relative to unrelated probes [1]. Semantic priming is thought [20] to reflect the interaction of two deliberately employed and time-consuming strategies, expectancy and retrospective semantic matching, with the obligatory and rapid spread of activation between related concept nodes of the semantic memory network [4]. Masked priming and priming at very short stimulus onset asynchronies (SOAs) [18] are thought to result exclusively from spreading activation and seem to imply that semantic access itself is similarly automatic in that it is fast acting, uncontrollable, capacity free and independent of intention or conscious awareness [19]. Recently, however, the size of the semantic priming effect has been shown to be contingent on the nature of the prime task: When the prime has to be searched for a target letter the semantic priming effect in lexical decision times is reduced to the point of being absent [see 16, for a review]. Both morphological priming [24] and repetition priming [7], however, are preserved under similar conditions, indicating a selective impediment of semantic access. Proposed underlying processes include the initiation of an activation block between the lexical and the semantic level [23, 24] and the tying up of limited attentional resources at the letter level [9, 22], both of which argue against the automaticity of semantic access. Yet recent research cautions against equating the absence of overt lexical decision RT effects with the absence of underlying processes as both alternative behavioral measures [12, 14] and electrophysiological indices, namely the N400 [6, 8] and the recognition potential [15], could

show evidence of semantic access despite letter search on the prime. In addition, prime task research as a whole suffers from a methodological constraint: responding to the prime task requires time which in turn makes a relatively long SOA between prime and probe necessary. As automatic semantic processes are fast-acting and subside just as quickly [17] the degree to which automatic priming processes are even measurable in a prime task experiment may thus be severely limited, be it in RT or ERP indices. Henik et al. [9] tried to resolve the SOA problem by delaying the prime task response until after participants had made a lexical decision on the probe, thus realizing a short SOA of 240 ms. Under these conditions, just as in standard prime task experiments, letter search eliminated semantic priming in lexical decision times [see also 22]. It seems premature, however, to draw definite conclusion from this purely behavioral result, given that ERP measures have revealed preserved priming after letter search in the absence of overt RT effects [6, 8, 15]. In the present study we therefore recorded ERPs in a delayed prime task paradigm (i.e., probe response before prime response) at both a short and a long prime-probe SOA. Priming effects are difficult to compare across different stimulus sets [11] and delaying the prime response requires memorizing the prime display and/or response and thus changes task demands. In a first experiment we therefore tested both the stimulus set and the procedure as to their ability to elicit reliable RT- and ERP-priming effects following a high-level prime task. In a second experiment we replicated this initial experiment using a letter search prime task. In keeping with ERP data from standard order prime tasks (i.e., prime response before probe response) [6, 8, 15] we expected electrophysiological evidence of semantic processing in the absence of overt behavioral effects.

Experiment 1

Materials and methods

27 volunteers participated in this experiment in exchange for 15 Euro or as a course requirement. Data from three participants had to be discarded due to an excessive amount of ERP-artifacts. The remaining 24 participants (8 male, age range: 19 – 37 years) were divided into two experimental groups with different SOAs (*short SOA* vs. *long SOA*). All participants reported normal or corrected-to-normal vision and were native German speakers and naïve with regard to the purpose of the study. From an item pool of 400 four- to six-letter German nouns [14] 24 associatively and semantically but not phonologically related word pairs were selected to serve as stimuli. According to the database *Projekt Deutscher Wortschatz* [21] items had a mean frequency of 11.5 (range: 6-16), signifying that their average word frequency was $2^{11.5}$ times lower than that of the most frequent German word in the database, the definite article ‘der’. To illustrate: ‘Prozent’ (percent) is the most frequent German noun in the database and has a frequency of 4. Assignment of stimuli to related word pairs was based on their significant co-occurrence in sentence contexts [21]. Half of the primes could be unambiguously classified as feminine whereas the other half was clearly masculine or neuter. Both classes of primes did not differ significantly with regard to word length and frequency. 24 unrelated word-word pairs were constructed out of the related pairs by recombining primes and probes. To allow for a lexical decision on the probe, 24 pronounceable nonwords, that matched the word probes in word length, were created by changing one letter in German nouns. Each nonword probe was combined with two different prime words to form 24 “related” and 24 “unrelated” word-nonword pairs. Each prime-probe pair was presented four times resulting in 384 experimental trials that were presented in randomized order: 96 related word-word pairs, 96 unrelated word-word pairs and 192 word-nonword pairs. Stimulus presentation and response acquisition were controlled by the Presentation software running on

an IBM-compatible computer. Stimuli were presented on a standard 19'' CRT-monitor and subtended a visual angle of approximately 0,88-1,32 x 0,35 degrees each. All participants were tested individually in an electrically shielded and dimly lit room. Initially participants had to complete 48 practice trials, none of which appeared in the experiment proper. In the main experiment each trial began with the presentation of a prime display for 140 ms that consisted of the first word of a pair presented in uppercase and an uppercase target letter that was replicated above each letter of this prime word (vertical distance = 0,57 degrees of visual angle). When the prime word contained the target letter, as was the case in half of the trials, it was drawn equally often from the beginning, middle and end of the word. Participants were instructed to attend to the prime word, but not immediately react to it. Following the prime display a fixation cross appeared for 100 ms in the *short SOA* group and 700 ms in the *long SOA* group, resulting in SOAs of 240 ms and 840 ms respectively. The lowercase probe word was then presented until participants made a lexical decision to it, but for a maximum of 1000 ms. If participants failed to respond within 1000 ms the probe was replaced with a fixation cross that remained onscreen until a response occurred. Following the probe response a question mark appeared indicating that participants should decide whether the grammatical gender of the prime word had been feminine or masculine/neuter.. All responses were given by pressing either the left or the right button on a reaction box with assignment of response buttons counterbalanced across participants. The task was self-paced with participants initiating each trial by pressing a third key on the reaction box. The EEG was recorded using Ag/AgCl electrodes at F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz and P4 with digitally linked earlobes as reference and the ground electrode placed on the forehead. Horizontal and vertical electrooculograms (EOGs) were recorded to control for eye movement and blink artifacts. Electrode impedance was kept below 5 kOhm. The digitization rate was 250 Hz and band pass was set from DC to 100 Hz.. An offline high-cutoff filter was set at 40 Hz and data were subjected to a global DC detrend with intervals of 100 ms before probe markers and before

DC corrections. Trials with blink or eye movement artifacts were discarded. From the edited set of raw data, ERPs were extracted by averaging single trials with correct responses separately for subjects, electrodes and experimental conditions. The amplitude of the N400 was quantified as the mean voltage in the interval between 300 and 500 ms after probe presentation referred to a corrected 100 ms baseline.

Results and discussion

Data analysis was conducted only for trials with a correct prime task response, resulting in 4.55 % of the data being discarded (subjects produced a similar amount of false “yes”- and “no”-responses. A statistical analysis that included trials with an incorrect prime task response yielded similar results). Data analysis was restricted to trials with a correct probe response. The average time taken to successfully complete the grammatical decision task on the prime was 460 ms in the *short SOA* group and 292 ms in the *long SOA* group. In both subject groups, trials with probe RTs more than 2 SDs below or above the mean per condition (*related* vs. *unrelated*) and participant were excluded from further analysis. This trimming procedure resulted in a further 5 % of the overall data being discarded.

Insert Table 1 about here

Table 1 shows mean RTs and error rates for the *short SOA* and *long SOA* groups. Reaction times did not differ significantly between the two SOAs ($F(1, 22) = 0.33, p > .57$). There was a main effect of *relatedness* ($F(1, 22) = 6.86, p < .016$) that was not mediated by *SOA* ($F(1, 22) = 0.05, p > .82$) indicating that participants in both SOA groups responded more quickly to related than to unrelated probes. The small size of the priming effects (15 ms

in the *short SOA* and 17 ms in the *long SOA* group) may be due to increased task demands of the delayed prime task relative to the standard priming paradigm: in order to complete the delayed prime task participants have to hold a representation of the prime display and/or the prime response in working memory during probe presentation and response. This may lengthen probe lexical decision times which may in turn decrease the semantic priming effect (Footnote ¹). Error rates differed neither between the *short SOA* and the *long SOA* group ($F(1, 22) = 0.54, p > .47$) nor between *related* and *unrelated* trials ($F(1, 22) = 0.00, p > .95$).

Insert Figure 1 about here

Figure 1 shows grand average ERP waveforms to probe stimuli at the midline electrodes in both SOA groups. Irrespective of SOA unrelated probes reliably produced more negative-going potentials between 300 and 500 ms post-stimulus than did related probes. The main effect of *relatedness* ($F(1, 22) = 8.08, p < .009$) was thus significant but not modulated by *SOA* ($F(1, 22) = 0.06, p > .81$). The effect was topographically widespread: neither the *electrode position* x *relatedness* ($F(8, 176) = 0.8, p > .6$) nor the *electrode position* x *relatedness* x *SOA* interaction ($F(8, 176) = 0.47, p > .87$) reached significance. Both procedure and stimulus set do thus satisfy the criteria set prior to the experiment: when the prime task encouraged higher-level processing they elicited reliable RT- and ERP-priming effects. In a second experiment we examined these effects under letter search conditions.

Experiment 2

Materials and methods

35 volunteers participated in this experiment in exchange for 15 Euro or as a course requirement, none of whom had had taken part in Experiment 1. Data from four participants had to be discarded due to high error rates. Data from an additional seven participants had to be excluded from further analysis due an excessive amount of ERP-artifacts. The remaining 24 participants (12 male, age range: 19 – 35 years) were naïve with regard to the purpose of the study, reported normal or corrected-to-normal vision and were native German speakers.. Stimuli, procedure and EEG recording parameters were identical to those in Experiment 1 with the exception of the prime task. Participants were again divided into two experimental groups with different SOAs (*short SOA* vs. *long SOA*) and were instructed to attend to the prime word and the accompanying target letter string, but not immediately react to it. At the presentation of the probe a lexical decision on the probe had to be made. Following the probe response participants had to decide whether the target letter had been present in the prime.

Results and discussion

Data analysis was conducted only for trials with a correct prime task response, resulting in 11 % of the data being discarded. Only trials with a correct probe response were analysed further. Completing the letter search task took on average 339 ms in the *short SOA* group and 232 ms in the *long SOA* group. In both subject groups, trials with probe RTs more than 2 SDs below or above the mean per condition (*related* vs. *unrelated*) and participant were discarded (a further 4.65 % of the data).. Table 1 shows mean RTs and error rates for both SOA groups. Participants in the *long SOA* group (626 ms) responded significantly faster than those in the *short SOA* group (910 ms) resulting in a main effect of SOA ($F(1, 22) = 13.87, p < .001$). This may be due to the specific task demands associated with delaying the

prime task response: In order to later complete the delayed prime task participants will have to commit pertinent aspects of the prime display or the prime response to memory. This time-consuming process could presumably be completed within the long SOA but would delay the lexical decision on the probe in the short SOA group. Consistent with previous research [9, 22] neither the main effect of *relatedness* ($F(1, 22) = 0.67, p > .42$) nor the interaction between *relatedness* and *SOA* ($F(1, 22) = 0.01, p > .9$) reached significance indicating that neither SOA group exhibited a significant semantic priming effect. Error rates differed neither between the *short SOA* and the *long SOA* group ($F(1, 22) = 2.93, p > .1$) nor between *related* and *unrelated* trials ($F(1, 22) = 0.06, p > .8$).

Figure 1 shows grand average ERP waveforms to probe stimuli at the midline electrodes in both SOA groups. Irrespective of SOA a significant N400 priming effect was observed between 300 and 500 ms post-stimulus with unrelated probes producing more negative-going potentials than related probes. The main effect of *relatedness* ($F(1, 22) = 9.53, p < .005$) was thus not modulated by *SOA* ($F(1, 22) = 0.00, p > .99$). Neither the *electrode position* x *relatedness* ($F(8, 176) = 0.56, p > .8$) nor the *electrode position* x *relatedness* x *SOA* interaction ($F(8, 176) = 0.63, p > .74$) reached significance indicating that the effect was widespread. In contrast to lexical decision times, ERP measures could thus show evidence of semantic access to the prime even though the prime task required only low-level-processing.

General discussion

In the present study we employed the delayed prime response procedure at short (240 ms) and long (840 ms) prime-probe SOAs and recorded ERPs in addition to lexical decision times. Irrespective of SOA, RT data revealed a standard prime task effect, thus confirming previous research [9, 22]. When participants had to decide on the grammatical gender of the prime (Experiment 1), we found significant semantic priming effects of 17 ms at the long SOA and of 15 ms at the short SOA that were reduced to a nonsignificant 7 ms and 5 ms,

respectively, when the prime task was letter search (Experiment 2). The ERP data on the other hand provided evidence of automatic semantic activation as manifested in the modulation of the N400 in all four experimental groups: Irrespective of prime task and SOA, semantically unrelated probes produced a more negative-going waveform in the interval between 300 and 500 ms post-stimulus than related probes. As in previous research [6, 8] the N400 thus proved to be a more sensitive index of semantic activation than lexical decision times. This is probably due to the immediate nature of electrophysiological measures which are not contaminated by response selection and execution processes, both of which would be affected by the unfamiliar task demands of letter search that emphasize orthographic stimulus features as opposed to the readily available word meaning. As the N400 modulation revealed semantic processing under letter search conditions our results are incompatible with the activation block account [23, 24] which posits that focusing attention on low-level properties of a word will prevent semantic activation. Since the N400 priming effect was also significant at the short prime-probe SOA of 240 ms it is feasible that it reflects spreading activation since controlled semantic processes are thought to contribute to the semantic priming effect only at SOAs of 400 ms or more [17]. This issue is difficult to resolve, however, as there is an ongoing controversy regarding the involvement of automatic processes in the generation of the N400: Holcomb [10] postulated an involvement of both automatic and controlled processes and N400 priming effects have been shown to be both present [5] and absent [2] in masked priming tasks. Similarly some researchers [13] found low-level prime processing to be sufficient for the generation of N400 effects while others did not [3]. In the present study the impact of controlled priming processes, even at the short SOA, could have been increased due to the characteristics of the delayed prime task procedure. The need to commit the prime display and/or response to memory may have led to a more thorough processing of the prime that may involve a higher degree of semantic activation than usually generated in standard letter search experiments (i.e., prime response before probe response). Compared to such

experiments [12, 15], however, prime task RT in the present study appear considerably shortened whereas probe RT are prolonged. It thus appears as though participants did not memorize the entire prime display but rather the prime response suggesting that only a shallow letter level analysis of the primes was conducted when they were presented. In any case, potential changes in processing should have influenced both behavioral and electrophysiological measures in a similar fashion and as such are highly unlikely to have caused the dissociation between RT and ERP results we observed. Nevertheless, methodological differences have to be kept in mind when comparing the present results to those of standard prime task paradigms. In conclusion, we did replicate the results of Henik et al. [9] and Smith et al. [22] in that letter search on the prime eliminates the behavioral semantic priming effect in the context of a delayed prime task paradigm. In the present study, however, the absence of overt RT effects did not correspond to the suppression of the underlying processes: The modulation of the N400, the ERP correlate of semantic activation, provided clear-cut evidence of semantic access to the prime word despite low-level prime processing and at an SOA that was presumably too short for the implementation of controlled priming processes. As in previous research [6, 8, 15] ERP indices could thus reveal semantic processing where behavioral measures could not, a fact that cautions against dismissing the concept of automatic semantic activation on the basis of behavioral null results.

Acknowledgements

This study was supported by the German Research Foundation. We thank Jan-Henryk Dombrowski for programming the necessary Presentation scenarios and Alexa Lampar and Julia Pellkofer for their help during data acquisition.

References

- [1] Bentin, S., McCarthy, G. and Wood, C.C., Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 60 (1985) 343-355.
- [2] Brown, C. and Hagoort, P., The processing nature of the N400: Evidence from masked priming. *J Cognit Neurosci*, 5 (1993) 34-44.
- [3] Chwilla, D.J., Brown, C.M. and Hagoort, P., The N400 as a function of the level of processing. *Psychophysiology*, 32 (1995) 274-285.
- [4] Collins, A.M. and Loftus, E.F., A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychol Rev*, 82 (1975) 407-428.
- [5] Deacon, D., Hewitt, S., Yang, C. and Nagata, M., Event-related potential indices of semantic priming using masked and unmasked words: Evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process. *Cognit Brain Res*, 9 (2000) 137-146
- [6] Dombrowski, J.-H. and Heil, M., Semantic activation, letter search and N400: A reply to Mari-Beffa, Valdes, Cullen, Catena and Houghton (2005). *Brain Res*, 1073-1074 (2006) 440-443.
- [7] Friedrich, F.J., Henik, A. and Tzelgov, J., Automatic processes in lexical access and spreading activation. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 17 (1991) 792-806.
- [8] 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) 825-827.
- [9] Henik, A., Friedrich F.J., Tzelgov, J. and Tramer, S., Capacity demands of automatic processes in semantic priming. *Mem Cognit*, 22 (1994) 157-168
- [10] Holcomb, P.J., Automatic and attentional processing: An event-related potential analysis of semantic priming. *Brain Lang*, 35 (1988) 66-85.
- [11] Hutchison, K.A., Balota, D.A., Cortese, M.J. and Watson, J.M., Predicting semantic priming at the item level. *Q J Exp Psychol*, 61 (2008) 1036-1066.

- [12] Hutchison, K.A. and Bosco, F.A., Congruency effects in the letter search task: Semantic activation in the absence of priming. *Mem Cognit*, 35 (2007) 514-525.
- [13] Kutas, M. and Hillyard, S.A., An electrophysiological probe of incidental semantic association. *J Cognit Neurosci*, 1 (1989) 38-49.
- [14] Küper, K. and Heil, M., Letter search does not affect semantic priming in a probe naming task. *Acta Psychol*, 129 (2008) 325-331.
- [15] Mari-Beffa, P., Valdes, B., Cullen, D.J., Catena, A. and Houghton, G., ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognit Brain Res*, 23 (2005) 293-305.
- [16] Maxfield, L., Attention and semantic priming: A review of prime task effects. *Conscious Cognit*, 6 (1997) 204-218.
- [17] Neely, J. H., Semantic priming and retrieval from lexical memory: Roles of inhibitionless spreading activation and limited-capacity attention. *J Exp Psychol Gen*, 106 (1977) 226-254
- [18] Neely, J. H.. 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*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1991, pp. 264-336.
- [19] Neely, J. H. and Kahan, T. A., Is semantic activation automatic? A critical re-evaluation. In H. L. Roediger, III (Ed.), *The nature of remembering: Essays in honor of R. G. Crowder*, APA, Washington, DC, 2001, pp. 69-93.
- [20] Neely, J. H. and Keefe, D. E., Semantic context effects on visual word processing: A hybrid prospective/retrospective processing theory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol.24, Academic Press, New York, 1989, pp. 207-248.
- [21] Projekt Deutscher Wortschatz. <<http://wortschatz.uni-leipzig.de/>> Retrieved February 2005.
- [22] Smith, M.C., Bentin, S. and Spalek, T.M., Attention constraints of semantic activation during visual word recognition. *J Exp Psychol Learn Mem Cognit*, 27 (2001) 1289-1298.

- [23] Stolz, J.A. and Besner, D., Role of set in visual word recognition: Activation and activation blocking as nonautomatic processes. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 22 (1996) 1166-1177.
- [24] Stolz, J.A. and Besner, D., Levels of representation in visual word recognition: a dissociation between morphological and semantic processing. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 24 (1998) 1643-1655.

Footnotes

¹ The stimulus material as well as the suitability of the grammatical gender discrimination as a control prime task were evaluated in a pilot study with 20 participants, none of whom took part in the experiment proper. Half of the subjects performed a letter search on the prime whereas the other half had to decide on the grammatical gender of the prime. As was the case in previous letter search studies, participants responded to the prime task immediately after the presentation of the prime display and only afterwards made a lexical decision on the probe. For subjects performing a grammatical gender decision on the prime we found a significant priming effect of 33 ms (compared to 17 ms in the delayed prime task procedure) that was reduced to a nonsignificant 6 ms after letter search. Further inspection of the pilot study data revealed that the standard task order resulted in considerably longer prime task RT (grammatical decision: 653 ms; letter search: 540 ms) and somewhat shorter probe lexical decision RT (grammatical decision: 774 ms; letter search: 795 ms) than observed in the delayed prime task design of the experiment proper.

Tables

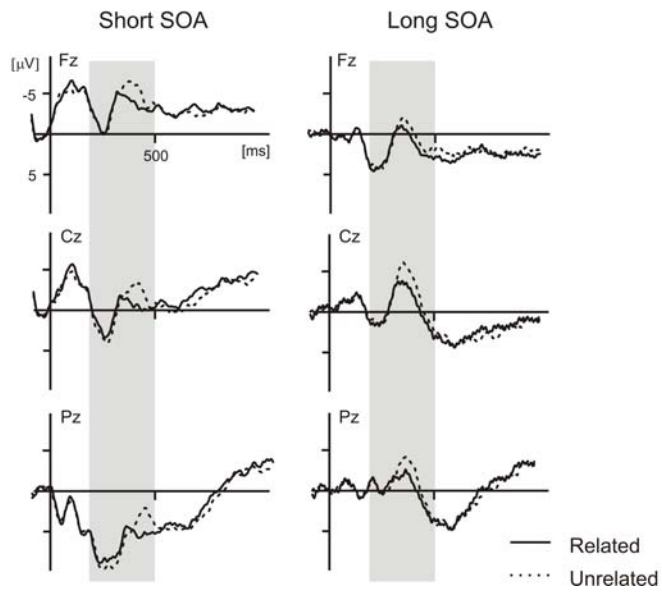
Table 1. Mean probe reaction times (M) and percentages of errors (E%) in the short SOA and long SOA groups of Experiments 1 and 2

Prime Task	SOA	Condition	M	E%
Exp. 1: Grammatical Decision	Short	Related	786	2.5
		Unrelated	801	3.3
	Long	Related	829	4.4
		Unrelated	846	3.4
Exp. 2: Letter Search	Short	Related	908	2.1
		Unrelated	913	2.6
	Long	Related	622	1.6
		Unrelated	629	0.8

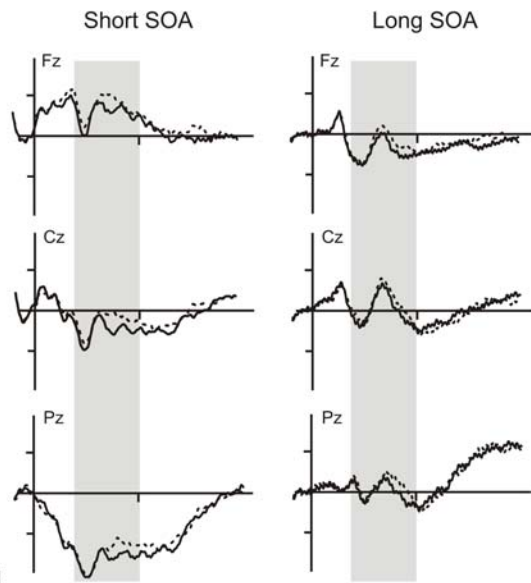
Figures

Figure 1. Grand-average event-related potentials at midline electrodes in the short SOA and long SOA groups of Experiment 1 and 2. Probe presentation occurred at 0 ms. Negativity is plotted upward and the N400 time window is highlighted in gray

Experiment 1: Grammatical Decision



Experiment 2: Letter Search



**Single letter coloring and spatial cuing reduces the Stroop effect but leaves semantic
activation intact**

Kristina Küper & Martin Heil

Heinrich-Heine-University, Düsseldorf, Germany

Corresponding author: Kristina Küper
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Institut für Experimentelle Psychologie
Universitätsstr. 1
40225 Düsseldorf, Germany
phone: ++49-211-81-14566
E-mail: kueper@uni-duesseldorf.de

Abstract

Participants are slower and more error-prone when indicating the color of incongruent color words compared to that of neutral or congruent stimuli. This Stroop effect is due to the concurrent semantic analysis of the word stimulus and as such has long been considered a prime example for the automaticity of semantic activation. However, coloring and cuing only a single letter reduces the Stroop effect to the point of being absent. As underlying mechanisms the blocking of semantic activation, an improved selectivity between the interfering stimulus dimensions and slowed color processing have been proposed. To differentiate between these accounts we analysed the exact result pattern underlying the attenuation of the Stroop effect in a vocal task. Both single letter coloring and cuing led to an increase in reaction times to neutral Stroop stimuli but left reaction times to incongruent stimuli unaffected. Our results thus support an explanation of the single letter Stroop phenomenon in terms of impeded color processing, which may be due to an increased display load and color-color interference.

PsycINFO classification: 2300; 2340

Key words: Automatic semantic activation; Stroop effect; Depth of processing; Single letter coloring; Spatial cuing

1. Introduction

In an influential series of experiments Stroop (1935) instructed participants to ignore the meaning of color words and instead name the color they were printed in. He found that his subjects were substantially slower to name the color of incongruent color words (e.g. the word “red” printed in blue ink) than that of rectangular color patches, a phenomenon labeled the Stroop effect. Further research (see MacLeod, 1991, for a review) demonstrated that the Stroop effect reflects interference as well as facilitation processes that arise from the concurrent semantic analysis of the Stroop stimulus. Participants can thus indicate the color of incongruent color words less quickly and less accurately than that of neutral words or word-like stimuli which are in turn processed more slowly and less accurately than congruent color words (e.g. the word “red” printed in red ink). Automatic processes are defined as fast acting, uncontrollable, capacity free and independent of conscious awareness or voluntary control (Posner & Snyder, 1975; Neely & Kahan, 2001). The Stroop effect is therefore often viewed as a prime illustration of the automaticity of semantic activation since participants can apparently not refrain from accessing the meaning of the Stroop stimulus despite instructions to the contrary.

An alternative account by Besner, Stolz and Boutilier (1997), however, posits that Stroop interference is better explained in terms of context effects. The authors argue that participants may well be able to suppress semantic activation, but that the context of standard Stroop experiments encourages them to adopt a mental set that promotes the processing of word stimuli up to the semantic level. In a manual Stroop task, Besner et al. (1997) consequently tried to eliminate the reading context by introducing a single letter condition in which only one letter of the word stimulus was printed in the target color with the remaining letters appearing in gray. The Stroop effect was indeed absent in the single letter condition, a result that mirrors the prime task effect (see Maxfield, 1997, for a review), which refers to the

elimination of semantic priming (i.e., faster and more accurate processing of a probe word that is preceded by a semantically related prime word) when a letter search has to be performed on the prime. Besner et al. (1997) concluded that both phenomena are due to a semantic activation block, that is the suppression of semantic activation as a means to focus all attentional resources on the letter level and boost the processing of orthographic stimulus features. As such semantic activation would rely on attentional resources and would thus not meet the criteria of an automatic process. Any conclusions drawn from null results have to be treated with caution, however, since it is unclear whether the absence of overt behavioral effects can really be equated with the absence of the underlying processes. In the context of prime task research this was not the case, as both alternative behavioral measures (Hutchinson & Bosco, 2007; Küper & Heil, 2008) and ERP indices (Mari-Beffa, Valdes, Cullen, Catena, & Houghton, 2005; Heil, Rolke, & Pecchinenda, 2004; Dombrowski & Heil, 2006; Küper & Heil, submitted) revealed semantic priming effects where lexical decision times could not.

Similarly the semantic activation block account can only hold for the Stroop paradigm, if single letter coloring reliably eliminates the Stroop effect. Yet in some instances a complete suppression of the Stroop effect could only be achieved by adding further changes to the experimental design, e.g. reducing the proportion of congruent trials (Besner, 2001) or including a second attentional manipulation by spatially precuing the colored letter (Besner, 2001; Besner & Stolz, 1999b). Besner and Stolz (1999b) interpreted the effectiveness of single letter cuing within the Stroop paradigm as further evidence, that attention is indeed a prerequisite for semantic activation to occur. Citing the elimination of the word superiority effect (Reicher, 1969) as a result of precuing the target letter (Johnston & McClelland, 1974) as converging evidence, Besner & Stolz (1999b; Besner & Stolz, 1999c) declared spatial cuing to be an equivalent to single letter coloring in terms of the ability to eliminate the Stroop effect. Cuing only a single letter in uniformly colored words, however, did not

eliminate but merely attenuate the Stroop effect. The authors attributed this to the fact that participants did not always use the cues to guide their behavior.

The semantic activation block account was challenged by studies that, in the absence of Stroop effects, found significant negative (Mari-Beffa, Estevez & Danziger, 2000; Besner, 2001) or positive priming effects (Catena, Fuentes & Tudela, 2002) when the target color corresponded to the to be ignored color word of the preceeding trial. Besner (2001), however, pointed out that these priming effects might be the result of off-line semantic analysis that takes place only after participants have completed the Stroop task response. As such, the elimination of the Stroop effect would reflect a preliminary impediment of semantic access due to a narrowing of the attentional focus and would still pose a problem for a strictly automatic view of semantic activation.

Since manual responses were recorded in the aforementioned studies it is difficult to draw any definite conclusions as to the nature of semantic processing in the single letter Stroop task. According to Sharma and McKenna (1998) both quality and size of the Stroop effect are contingent on the response modality employed, with manual responses producing an attenuated Stroop effect that is less contingent on lexicality, semantic association and semantic relevance than the vocal Stroop effect. Manwell, Roberts and Besner (2004) addressed this issue and combined single letter coloring with spatial cuing in a vocal Stroop task. Under these conditions the Stroop effect was only substantially diminished but not eliminated (see, Parris, Sharma & Weekes, 2007, for a similar result), leading the authors to put forward an explanation in terms of improved selection-for-action in addition to the semantic activation block account. They suggested that, similar to non-integrated Stroop stimuli (Macleod, 1998), single letter coloring and cuing reduce the Stroop effect by perceptually separating the different dimensions of the Stroop stimulus. Both accounts imply that single letter coloring and cuing reduce Stroop interference, i.e. speed up processing on incongruent trials, be it by curtailing semantic activation or by optimizing selection-for-

action. Monahan (2001) found instead that single letter coloring lead to prolonged RT for congruent and to a lesser degree for incongruent word stimuli. Similarly the processing of neutral nonverbal stimuli was slowed by single element coloring leading the author to suggest an impediment of color processing as the underlying process.

Accounts of the phenomenon thus differ with respect to the expected impact that single letter coloring and cuing will have on the processing of neutral as compared to incongruent Stroop stimuli. Yet with the exception of Monahan (2001), few researchers have examined the exact result pattern underlying the attenuation of the Stroop effect (but see Parris et al., 2007).

In a vocal Stroop task we therefore tried to quantify the influence single letter manipulations have on the processing of neutral and incongruent stimuli. As single letter coloring and cuing are often used in combination, it is still unclear in how far attentional processes associated with spatial precuing contribute to the elimination of the effect. We thus tried to differentiate the influence of single letter cuing from that of single letter coloring by including a cuing manipulation in the experimental design. For one subset of participants we employed a procedure similar to that of Manwell et al. (2004): when the Stroop stimulus was uniformly colored all letter positions were precued whereas only the odd letter out was precued in the single letter coloring condition. In a second subgroup we tried to induce single letter analysis for uniformly colored stimuli as well. In the process we addressed a concern raised by Besner and Stolz (1999b) who took the fact that spatial cuing within uniformly colored words did not eliminate but merely reduce the manual Stroop effect to mean that subjects did not always use the single-letter cue to guide their response. Stroop interference from uniformly colored words can, however, be eliminated by inducing an experiment-wide processing set of analysing only single elements within character strings (Besner & Stolz, 1999a). In the second sub-group we tried to induce such a processing set and encouraged

participants to maintain a narrow attentional focus throughout the experiment by always precuing a single letter regardless of the color status of the Stroop stimulus.

The various accounts of the single letter Stroop phenomenon make different predictions regarding the result pattern of our study: If the attenuation of the Stroop effect is indeed the result of a semantic activation block (Besner et al., 1997), one would expect single letter manipulations to speed up reactions to incongruent stimuli up to the level of neutral stimuli. Improved selectivity between the stimulus dimensions (Manwell et al., 2004) would also result in shortened reaction times for incongruent stimuli but would still allow for an RT difference between incongruent and neutral stimuli. Finally, impeded color processing (Monahan, 2001) would manifest itself in prolonged RT to neutral and to a lesser extent incongruent stimuli.

2. Method

2.1. Subjects

48 volunteers participated in this experiment in exchange for 5 Euro or as a course requirement. Data from two participants had to be discarded due to malfunctions of the response recording equipment. The remaining 46 participants (16 male, age range: 18-46 years) were native German speakers and reported normal or corrected-to-normal vision and normal color vision. All participants were naïve with regard to the purpose of the study.

2.2. Stimuli

Stimuli consisted of the four color words *blau* (blue), *gelb* (yellow), *grün* (green) and *rot* (red) and the four non-color-associated neutral words *topf* (pot), *hose* (trousers), *heft* (booklet), and *bus* (bus) that according to the *Projekt Deutscher Wortschatz* database (wortschatz.uni-leipzig.de, see <http://corpora.informatik.uni-leipzig.de/> for an English

language equivalent) matched the color words in length and word frequency. Stimuli were presented on a grey background (RGB: 178, 178, 178) in lowercase Courier PS font with one blank character space between letters and on average subtended a visual angle of 2.8–4.0 degrees width x 0.8 degrees height. Stimuli were colored in blue (RGB: 0, 0, 170), yellow (RGB: 255, 255, 85), green (RGB: 0, 170, 0) or red (RGB: 170, 0, 0) with color words always appearing in a color incongruent to their word meaning. According to the coloring condition (all letters vs. single letter) either all letters of the stimulus appeared in the same color or only one letter was colored in the target color with the remaining letters appearing in another incongruent color from the response set. All stimulus words and word colors were presented equally often. Each letter was equally often the odd letter out in terms of coloring and cuing.

2.3. Design

The experiment consisted of a 2 *cuing* (variable vs. fixed) x 2 *color status* (all letters vs. single letter) x 2 *congruency* (neutral vs. incongruent) design with *cuing* as between-subject factor and *color status* and *congruency* as within-subject factors. In the main experiment participants were presented with 576 randomized trials, comprised of 144 trials at each level of *color status* and *congruency*.

2.4. Procedure

Stimulus presentation and response acquisition were controlled by the Presentation software running on an IBM-compatible computer. Stimuli were presented on a standard 19'' CRT-monitor and vocal responses were recorded using a Sennheiser pc140 headset microphone.

Participants were divided into two experimental groups that differed with respect to the cuing manipulation. In the variable cuing group the precuing was consistent with the

coloring of the stimulus: when the word was uniformly colored all letter positions were precued whereas only the odd letter out was precued in the single letter coloring condition.

In contrast, a single letter position was always precued in the fixed cuing group regardless of whether the whole word or only a single letter were colored. For both groups each letter position was precued equally often.

Before the start of the experiment proper participants had to complete 48 practice trials in order to get acquainted with their task. Each trial began with the 400 ms presentation of a blank screen that was followed by the cue display consisting of up to four white (RGB: 255, 255, 255) arrows (approximately 1.2 degrees tall) that appeared above and below the subsequent position of one or each letter of the target word (vertical distance = 0,6 degrees of visual angle). The cue display remained on screen for 125 ms and was then augmented by the word stimulus that remained onscreen until the participant's response. The response triggered an inter trial interval of 1400 ms, during which a fixation cross was presented.

3. Results

RT analysis was conducted only for trials with a correct and accurately recorded color naming response. Due to malfunctions of the recording equipment 2 % of the data had to be discarded. Trials with RTs more than 2 SDs below or above the mean per condition and participant were excluded from further analysis. This trimming procedure resulted in a further 4.66 % of the data being discarded.

Insert Table 1 about here

Table 1 shows mean RTs and error rates for the fixed and variable cuing groups.

Reaction times yielded a main effect of *congruency* ($F(1, 44) = 267.80, p < .0001$) that was due to participants responding significantly faster to neutral (675 ms) than to incongruent stimuli (736 ms). For both cuing groups this Stroop effect was more pronounced when all letters of the word were colored resulting in a significant *color status* x *congruency* interaction ($F(1, 44) = 28.85, p < .0001$). This difference in Stroop effect size as a function of color status was larger when precuing was color-consistent as indicated by the significant *cuing* x *color status* x *congruency* interaction ($F(1, 44) = 4.81, p < .03$). A main effect of *color status* ($F(1, 44) = 13.58, p < .0006$) was due to participants responding faster when all letters were colored (698 ms) as opposed to when only a single letter was colored (712 ms). The significant *color status* x *congruency* interaction ($F(1, 44) = 28.85, p < .0001$), however, indicated that single letter coloring prolonged RT only on neutral trials ($F(1, 45) = 93.96, p < .0001$) but did not influence RT on incongruent trials ($F(1, 45) = 0.04, p > .83$).

For the accuracy data we found a main effect of *congruency* ($F(1, 44) = 29.06, p < .0001$) that was due to participants making fewer errors on neutral (0.7 %) than on incongruent trials (1.8 %) . This accuracy Stroop effect was not modulated by any other factor.

4. Discussion

We compared naming times for neutral and incongruent Stroop stimuli in two coloring conditions: either only a single letter or the whole word were colored in the to be named target color. In order to further quantify the impact of attentional processes on the attenuation of the Stroop effect we additionally manipulated the scope of the attentional focus by spatial precuing. In the variable cuing group precuing was color-consistent with a single letter position precued in the single letter coloring condition and all letter positions precued when

all letters were colored. In the fixed cuing group, on the other hand, we tried to encourage participants to consistently maintain a narrow attentional focus by always precuing only a single letter regardless of the color status of the Stroop stimulus.

Consistent with previous research (Manwell et al., 2004) and irrespective of cuing condition we found the vocal Stroop effect to be severely attenuated when only a single letter was colored and precued. Proposed underlying mechanisms have included attenuated semantic activation (Besner et al., 1997), improved selection-for-action (Manwell et al., 2004) and impeded color processing (Monahan, 2001). Both the attenuation of semantic activation and the improvement of selection-for-action would speed up reactions to incongruent stimuli. Slower color processing, on the other hand, would result in an overall lengthening of RT, that would be especially pronounced for neutral stimuli. Our results support the latter theory as coloring only a single letter significantly increased reaction times for neutral but not for incongruent stimuli. As already noted by Monahan (2001) the initial single letter Stroop experiment by Besner et al. (1997) yielded similar results: On closer inspection the reduction of the Stroop effect in the single letter condition was due to increased RT to neutral and congruent stimuli. Coloring only a single letter did not speed up reactions to incongruent stimuli as would be expected if semantic activation was indeed impeded. Similarly numerous other studies employing single letter coloring have described either the overall lengthening of RT (Mari-Beffa et al., 2000; Besner & Stolz, 1999b) or an increase in RT that was limited to neutral (Catena et al., 2002) or congruent stimuli (Besner, 2001).

When subjects were encouraged to maintain a narrow attentional focus, i.e. when cuing pertained to a single letter throughout the experiment, the Stroop effect was also attenuated for uniformly colored words. Again this reduced Stroop effect resulted from a lengthening of reaction times to neutral stimuli while reaction times to incongruent stimuli were left unaffected. The spatial cuing of a single letter within uniformly colored words did thus not improve selective attention and thereby decrease interference from the irrelevant

semantic stimulus dimension. Instead, like single letter coloring, it appears to have slowed color processing, possibly because single letter cues are incompatible with the homogeneous color format of uniformly colored Stroop stimuli. Additionally the spatial cue is less informative than in the variable cuing condition where it not only informs participants as to the position of the subsequent target letter(s) but also indicates whether the target word will be uniformly colored or multicolored. In the fixed cuing group, on the other hand, where only one letter is cued regardless of color status, the cue provides no information as to the coloring of the subsequent target word.

The color processing impediment underlying the present results may be more closely defined as a problem of target color selection which becomes more difficult as more visual information, such as additional colors and cuing arrows, is included in the display. In particular, processing the single colored target letter may be hampered by color-color interference which would be especially pronounced when the remaining letters appear in another color from the response set and not in neutral gray (Glaser & Glaser, 1982; Hagenaar & Van der Heijden, 1986). Accordingly Manwell et al. (2004) found a semantic Stroop effect to be eliminated in a single letter condition when the remaining letters were colored in an incongruent color from the response set. When the remaining letters appeared in gray, however, overall reaction times were decreased by approximately 100 ms and the Stroop effect was merely attenuated. The effects of single letter manipulations might not come to bear in reaction times to incongruent stimuli as suppressing the incorrect answer provided by the semantic processing pathway could take longer than overcoming the adverse effects of increased display load and color-color interference.

Still as speeded up responses to incongruent stimuli have also been reported (Manwell et al., 2004; Besner, 2001; Parris et al., 2007) the selection-for-action hypothesis of the single letter Stroop effect should not be discounted prematurely. Given the right experimental design single letter manipulations may well reduce interference from the word meaning by

preceptually separating the different Stroop dimensions. The degree to which the disparate mechanisms are engaged in the reduction of the Stroop effect may depend on the stimulus material employed. The effectiveness of single letter manipulations appears to be contingent on the position of the highlighted letter (Parris et al., 2007; Danziger, Estevez & Mari-Beffa, 2002). As such word form and length of the Stroop stimuli may play an important role. In the present study the German Stroop words employed were on average shorter than their English counterparts (e.g., Manwell et al., 2004; Parris et al., 2007). It is likely that focusing attention on a single letter will still allow for the concurrent processing of neighboring letters. For shorter word stimuli a larger percentage of the word form will thus be processed resulting in a higher degree of semantic activation. Still even if selective attention could be sufficiently boosted to completely eliminate interference from the word meaning this would not provide evidence for the blocking of semantic activation (Besner et al., 1997). According to Neely and Kahan (2001) the elimination of the Stroop effect under these circumstances could simply reflect a visual feature integration problem. Narrowing the attentional focus could make the letter rather than the word the perceptual object (Kahnemann & Henik, 1981). The Stroop stimulus would thus not be treated as a word and would therefore not engender semantic activation.

In conclusion, we demonstrated that single letter coloring and cuing reduced the Stroop effect by increasing reaction times for neutral stimuli while RT to incongruent stimuli were left unaffected. This result pattern argues against a curtailing of semantic activation and is best explained in terms of slowed color processing (Monahan, 2001) which may be due to an increased display load and color-color interference.

Acknowledgements

This study was supported by the German Research Foundation. We thank Jan-Henryk Dombrowski for programming the necessary Presentation scenarios and Inga Schalinski for her help during data acquisition.

References

- Besner, D. (2001). The myth of ballistic processing: Evidence from Stroop's paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 324-330.
- Besner, D., & Stolz, J.A. (1999a). Context dependency in Stroop's paradigm: When are words treated as nonlinguistic objects? *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 53, 375-380.
- Besner, D., & Stolz, J.A. (1999b). What kind of attention modulates the Stroop effect? *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 99-104.
- Besner, D., & Stolz, J.A. (1999c). Unconsciously controlled processing: The Stroop effect reconsidered. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 449-455.
- Besner, D., Stolz, J.A., & Boutilier, C. (1997). The Stroop effect and the myth of automaticity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 221-225.
- Catena, A., Fuentes, L.J., & Tudela, P. (2002). Priming and interference effects cannot be dissociated in the Stroop task: New evidence in favor of the automaticity of word recognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 113-118.
- Danziger, S., Estevez, A.F., & Mari-Beffa, P. (2002). Stroop interference effects in partially colored Stroop words. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 536-541.
- Dombrowski, J.-H., & Heil, M. (2005). Semantic activation, letter search and N400: A reply to Mari-Beffa, Valdes, Cullen, Catena and Houghton (2005). *Brain Research*, 1073-1074, 440-443.
- Glaser, M.O., & Glaser, W.R. (1982). Time course analysis of the Stroop phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 875-894.
- Hagenaar, R., & Van der Heijden, A.H.C. (1986). Target-noise separation in visual selective attention. *Acta Psychologica*, 62, 161-176.

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, 825-827.

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.

Johnston, J.C., & McClelland, J.L. (1974). Perception of letters in words: Seek not and ye shall find. *Science*, 184, 1192-1194.

Kahnemann, D., & Henik, A. (1981). Perceptual organization and attention. In M.Kubovy & J.R. Pomerantz (Eds.), *Perceptual organization* (pp.181-211). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Küper, K., & Heil, M. (2008). Letter search does not affect semantic priming in a probe naming task. *Acta Psychologica*, 129, 325-331.

Küper, K., & Heil, M. (submitted). Electrophysiology reveals semantic priming at a short SOA irrespective of depth of prime processing.

MacLeod, C.M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.

MacLeod, C.M. (1998). Training on integrated versus separated Stroop tasks: The progression of interference and facilitation. *Memory & Cognition*, 26, 201-211.

Manwell, L.A., Roberts, M.A., & Besner, D. (2004). Single letter coloring and spatial cuing eliminates a semantic contribution to the Stroop effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 458-462.

Mari-Beffa, P., Estevez, A.F., & Danziger, S. (2000). Stroop interference and negative priming: Problems with inferences from null results. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7, 499-503.

Mari-Beffa, P., Valdes, B., Cullen, D.J., Catena, A., & Houghton, G. (2005). ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23, 293-305.

Maxfield, L. (1997). Attention and semantic priming: A review of prime task effects. *Consciousness and Cognition*, 6, 204-218.

Monahan, J.S. (2001). Coloring single Stroop elements: Reducing automaticity or slowing color processing? *Journal of General Psychology*, 128, 98-112.

Neely, J. H., & Kahan, T. A. (2001). Is semantic activation automatic? A critical re-evaluation. In H. L. Roediger, III (Ed.), *The nature of remembering: Essays in honor of R. G. Crowder* (pp.69-93). Washington, DC: APA.

Parris, B.A., Sharma, D., & Weekes, B. (2007). An optimal viewing position effect in the Stroop task when only one letter is the color carrier. *Experimental Psychology*, 54, 273-280.

Projekt Deutscher Wortschatz (2005). <<http://wortschatz.uni-leipzig.de/>> [Retrieved February].

Posner, M.I., & Snyder, C.R.R. (1975). Attention and cognitive control. In R.L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: The Loyola Symposium* (pp. 55-83). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Reicher, G.M. (1969). Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 275-280.

Sharma, D., & McKenna, F.P. (1998). Differential components of the manual and vocal Stroop tasks. *Memory & Cognition*, 26, 1033-1040.

Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.

Tables

Table 1. Mean Reaction Times (M), Standard Deviations (SD) and Percentages of Errors (E%) for Neutral and Incongruent Stroop Stimuli as a Function of Color Status (Single Letter vs. All Letters) in the Fixed and Variable Cuing Groups

Cuing Group	Color Status	Congruency	M	SD	E%
Variable	Single Letter	Neutral	684	63	0.9
		Incongruent	726	57	1.8
	All Letters	Neutral	643	54	0.6
		Incongruent	729	80	1.7
Fixed	Single Letter	Neutral	696	76	0.8
		Incongruent	746	85	1.5
	All Letters	Neutral	677	78	0.6
		Incongruent	745	79	2.2

Erklärung

Es handelt sich bei dieser Arbeit um eine kumulative Promotion. Ich war an allen eingeschlossenen Studien maßgeblich beteiligt. Es folgt eine Schätzung der Beteiligung in %:

Küper, K., & Heil, M. (2008). Letter search does not affect semantic priming in a probe naming task. *Acta Psychologica*, 129, 325-331.

Datenerhebung: 70%

Datenauswertung: 100%

Artikel: 90%

Küper, K., & Heil, M. Electrophysiology reveals semantic priming at a short SOA irrespective of depth of prime processing (manuscript under review).

Datenerhebung: 70%

Datenauswertung: 100%

Artikel: 90%

Küper, K., & Heil, M. Single letter coloring and spatial cuing reduces the Stroop effect but leaves semantic activation intact (manuscript submitted for publication).

Datenerhebung: 80%

Datenauswertung: 100%

Artikel: 90%

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.

Düsseldorf, den 10.11.2008

Kristina Küper