

Mechanismen der Interferenz in Doppelaufgaben

Iring Koch

Zusammenfassung. Wenn man zwei Aufgaben gleichzeitig bearbeitet, dann kommt es im Vergleich zur Bearbeitung nur einer Aufgabe zumeist zu einer Leistungsver schlechterung (Interferenz). Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Mechanismen der Doppelaufgaben-Interferenz bei der zeitlich überlappenden Bearbeitung von recht elementaren kognitiven Aufgaben (z. B. auf einen Ton eine Taste drücken). Diese Mechanismen werden typischerweise mit dem „Psychologische Refraktärperioden“ (PRP)-Paradigma untersucht. Traditionelle Erklärungen für Doppelaufgaben-Interferenz gehen von einem zentralen Verarbeitungseingpass auf der Ebene der Entscheidung und Reaktionsauswahl aus. Neuere empirische Befunde legen jedoch nahe, dass Doppelaufgaben-Interferenz auch in bezug auf andere Verarbeitungsprozesse auftritt, wie etwa das Enkodieren und Abrufen von Information im Kurzzeitgedächtnis sowie die kognitive Steuerung der Aufgabenabfolge. Diese Vielfalt der Mechanismen der Doppelaufgaben-Interferenz erfordert eine deutliche Erweiterung traditioneller theoretischer Rahmenvorstellung. Diese Erweiterung lässt auch den Umgang mit angewandten Doppelaufgaben-Problemen (z. B. Telefonieren beim Autofahren) in einem neuen Licht erscheinen.

Schlüsselwörter: Doppelaufgaben, Interferenz, Psychologische Refraktärperiode, attentional blink, Kompatibilität (cross-talk), Planung von Aufgabensequenzen

Mechanisms of interference in dual tasks

Abstract. Doing two tasks at once often leads to worse performance than doing just one task. The present article deals with the mechanisms of dual-task interference when performing quite elementary cognitive tasks (e.g., pressing a button in response to a tone). These mechanisms are typically investigated using the “psychological refractory period” (PRP) paradigm. Traditional accounts of dual-task interference assume a central information-processing bottleneck at the level of decision and response selection. New empirical evidence suggests, however, that interference also comes from other processes, such as the encoding and retrieval of information in short-term memory as well as the cognitive control of task order. This diversity of mechanisms of dual-task interference requires a substantial extension of traditional theoretical frameworks. This extension also casts new light on applied issues of dual-task interference, such as using cell phones while driving.

Key words: dual-task interference, psychological refractory period effect, attentional blink, crosstalk, coordination of task order

In Deutschland ist es derzeit verboten, das Mobiltelefon während des Autofahrens zu benutzen, wenn man keine Freisprechanlage hat. Diesem Verbot liegt offenbar die Auffassung zu Grunde, dass es beim gleichzeitigen Autofahren und Handhaben des Mobiltelefons zu motorischer Interferenz kommen kann, die die Sicherheit im Straßenverkehr beeinträchtigt, während beim Freisprechen keine Interferenz auftritt. Tatsächlich ist die Interferenz zwischen zwei gleichzeitigen Aufgaben ein ernstes praktisches Problem im Rahmen der angewandten Psychologie. Neben dieser offensichtlichen Praxisrelevanz der Doppelaufgaben-Interferenz ist die Erforschung der Ursachen dieser Interferenz auch ein wichtiges aktuelles Thema der psychologischen Grundlagenforschung (vgl. Koch & Jolicoeur, 2006). Das Ziel dieses Aufsatzes besteht darin, neue Befunde zu diskutieren, die das derzeit dominierende

theoretische Modell eines kognitiven Verarbeitungseingpasses auf der „zentralen“ Ebene der Reaktionsauswahl in Frage stellen.

Traditionell wird Doppelaufgaben-Interferenz als Beleg für die Kapazitätsbeschränkung des Informationsverarbeitungssystems aufgefasst. Die informationstheoretisch geprägten Modellvorstellungen der 1950er Jahre beruhten im Sinne eines „Ein-Kanal“ (*single channel*) Modells auf der Annahme eines Verarbeitungs-Eingpasses auf der Ebene der Reizidentifikation (Broadbent, 1958) oder der Handlungsauswahl (Welford, 1952), während die Verarbeitung vor und nach diesem Eingpass parallel und automatisch erfolgen kann. Dieser Eingpass-Metapher wurde allerdings bald die Metapher von begrenzten mentalen Ressourcen entgegengestellt (z. B. Kahneman, 1973). Ressourcen-Theorien postulieren, dass jede Aufgabe eine bestimmte Menge von Aufmerksamkeitsressourcen erfordert, und dass Doppelaufgaben-Interferenz entsteht, wenn zwei Aufgaben gleichzeitig mehr Ressourcen erfordern als aktuell zur Verfügung stehen. In diesem Fall müssten die Ressourcen aufgeteilt werden, so dass die Leistung in einer Aufgabe oder sogar in beiden Aufgaben beeinträchtigt ist.

Die hier berichtete eigene Forschung wurde am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften (früher „MPI für Psychologische Forschung“) in München durchgeführt. Ich danke Stefanie Schuch für viele Diskussionen dieses Themas sowie Joachim Funke, Josef Lukas und den Gutachtern für ihre konstruktiven Kommentare zu diesem Aufsatz.

In Ressourcen-Theorien bleibt allerdings unklar, wie eigentlich eine mentale Ressource definiert werden kann. Tatsächlich wich die Annahme einer einheitlichen Verarbeitungsressource bald der Annahme von multiplen, modalitätsspezifischen Ressourcen (vgl. Heuer, 1996; Navon, 1984; Wickens, 1984, für Diskussionen). Die Unklarheit des Ressourcenkonzepts basiert allerdings auch darauf, dass die in dieser Forschungstradition verwendeten Aufgaben häufig recht komplex sind. Solche komplexen Aufgaben erfordern kontinuierliche kognitive Aktivität und häufig auch längere Handlungssequenzen (z. B. Klavierspielen oder ein Gedicht aufsagen), so dass die Aufgabenleistung jeweils über einen längeren Zeitraum zusammengefasst wird. Die Kombination von zwei kontinuierlichen Aufgaben ermöglicht es den Probanden aber im Prinzip, aufgabenspezifische Teilprozesse strategisch zeitlich so zu koordinieren, dass potenziell in den jeweiligen Aufgaben vorhandene Verarbeitungsengpässe im Verhalten nicht mehr nachgewiesen werden können.

Dieses Problem der fehlenden experimentellen Kontrolle über die Verarbeitungsstrategien der Probanden kann ausgeräumt werden, wenn man sehr einfache, elementare Aufgaben verwendet (Pashler, 1993). Elementare Aufgaben sind charakterisiert durch eindeutige Darbietungszeitpunkte der relevanten Reize, so dass sich auch die Reaktionen zeitlich präzise auf die jeweiligen Reize beziehen lassen. Bei der zeitlich überlappenden Bearbeitung von zwei solchen elementaren Reaktionszeit(RZ)-Aufgaben wird regelmäßig Doppelaufgaben-Interferenz beobachtet. Diese Interferenz wurde ursprünglich auf eine „Psychologische Refraktärperiode“ (PRP) zurückgeführt (Telford, 1931), so dass das experimentelle Paradigma nun als PRP-Paradigma bezeichnet wird (vgl. Pashler, 1994, für einen Überblick).

Im Folgenden beschreibe ich zunächst das PRP-Paradigma. Auf der Basis von empirischen Befunden aus dem PRP-Paradigma hat Harold Pashler Mitte der 1980er Jahre das Konzept des Verarbeitungsengpasses wieder zu neuer Blüte gebracht, indem er das zentrale Reaktionsauswahl-Engpass- (*response-selection bottleneck*) Modell als Erklärung von Doppelaufgaben-Interferenz postuliert hat. Dieses Modell ist weithin anerkannt und spielt in der Doppelaufgabenforschung nach wie vor eine dominante Rolle. Allerdings werden zunehmend empirische Befunde zu neuen Interferenzphänomenen berichtet, die nicht mit dem zentralen Engpassmodell von Pashler erklärt werden können. Ich werde diese neueren Befunde darstellen und dann diskutieren, welche theoretischen Konsequenzen sich daraus für Modelle der Doppelaufgaben-Interferenz ergeben.

Doppelaufgaben-Interferenz in elementaren Aufgaben – Übersicht über die wichtigsten Befunde

Die „Psychologische Refraktärperiode“

Im PRP-Paradigma bearbeiten die Probanden zwei RZ-Aufgaben zeitlich überlappend in der Reihenfolge der

Reizdarbietung (Abbildung 1A). Dabei wird der zeitliche Abstand der jeweils aufgabenrelevanten Reize (*stimulus-onset asynchrony*, SOA) manipuliert. Für die Reaktion auf den ersten Stimulus (S1) ergibt sich typischerweise kein wesentlicher Einfluss der SOA-Manipulation. Im Unterschied dazu steigt die RZ auf S2 bei zunehmend kürzerem SOA immer weiter an (Abbildung 1B). Diese Doppelaufgaben-Interferenz wird als PRP-Effekt bezeichnet (Pashler, 1994).

Das PRP-Paradigma wurde vielfach verwendet, um die Mechanismen der Doppelaufgaben-Interferenz zu untersuchen. Während aber die Ressourcenmetapher zunehmend kritisch betrachtet wurde (Navon, 1984), gelang es Pashler in den 1980er Jahren, die Untersuchung des PRP-Effekts so weiterzuentwickeln, dass sie den Engpass-Ansatz als Alternative zu Ressourcenmodellen aufzeigen konnte (vgl. Pashler, 1994, für eine Übersicht). Seitdem darf das zentrale Engpass-Modell wohl als das dominierende Modell in der Doppelaufgabenforschung betrachtet werden.

Das Engpass-Modell von Pashler

Pashler (1994) ging in seinen experimentellen Studien von der idealisierten Vorstellung aus, dass Informationsverarbeitungsprozesse in klar voneinander abgrenzbaren Stufen nacheinander ablaufen (s. Abbildung 1C). Dabei werden zumindest drei Stufen postuliert: (1) eine Stufe der perzeptuellen Verarbeitung, (2) eine zentrale Stufe der Entscheidung und Reaktionsauswahl sowie (3) eine motorische Stufe der Reaktionsproduktion (vgl. Sanders, 1998). Die Forschungsstrategie von Pashler bestand darin, experimentelle Manipulationen systematisch sowohl in der ersten als auch in der zweiten Aufgaben einzuführen, so dass dabei selektiv nur die Dauer von jeweils einer Verarbeitungsstufe variiert wurde (Sternberg, 1969). Diese Experimente können hier aus Platzgründen nicht detailliert dargestellt werden. Im Ergebnis legten die empirischen Befunde nahe, dass die zentrale Verarbeitungsstufe der *Reaktionsauswahl* seriell abläuft und dadurch einen kritischen Verarbeitungsengpass darstellt (Pashler, 1994, für eine Übersicht). Gemäß dieser Modellvorstellung beruht der PRP-Effekt darauf, dass die Reaktionsauswahl in der zweiten Aufgabe warten muss, bis die Reaktionsauswahl in der ersten Aufgabe abgeschlossen ist. Entsprechend ergibt sich bei sehr kurzem SOA eine „Wartezeit“ für die zweite Reaktion. Im Vergleich zu dieser strikten Serialität auf der Ebene der Reaktionsauswahl postuliert das Modell von Pashler parallele Verarbeitung auf den perzeptuellen und motorischen Stufen, so dass diese Stufen in zwei Aufgaben gleichzeitig ablaufen und sich auch interferenzfrei zeitlich mit der Reaktionsauswahl in der jeweils anderen Aufgabe überschneiden können.

Pashlers Modell eines Reaktionsauswahl-Engpasses hat die Doppelaufgaben-Forschung in den 1980er und 1990er Jahren theoretisch dominiert. Eine kritische Frage ist jedoch, ob Doppelaufgaben-Interferenz tatsächlich ausschließlich auf einen Engpass auf der Ebene der Reak-

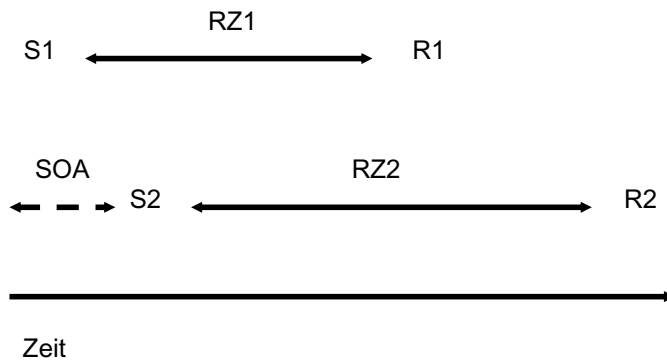
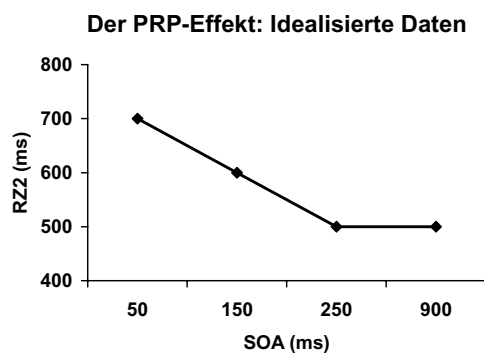
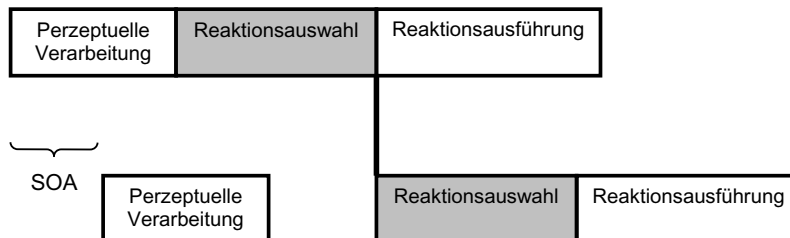
A**B****C**

Abbildung 1. A) Schematischer Ablauf eines Versuchsdurchgangs im PRP-Paradigma. SOA = Stimulus-Onset Asynchronie. RZ2 = Reaktionszeit in der zweiten Aufgabe. B) Idealisierte Daten. C) Schematische Darstellung der hypothetischen Verarbeitungsstufen im Reaktionsauswahlengpass-Modell nach Pashler (1994). Grau schraffierte Verarbeitungsstufen können sich zeitlich nicht überlappen, während die Verarbeitung auf allen anderen Stufen parallel ablaufen kann.

tionsauswahl zurückzuführen ist. Zu dieser Frage hat sich in den letzten 10–15 Jahren eine große Menge an kritischen empirischen Befunden angesammelt. Im folgenden werden diese Befunde genauer diskutiert.

Hybride Kombinationen von perzeptuellen Aufgaben und RZ-Aufgaben

Eine wichtige theoretische Implikation des Modells von Pashler (1994) besteht darin, dass die Reaktionsauswahl

in der RZ-Aufgabe nicht mit der perzeptuellen Verarbeitung in einer zweiten Aufgabe interferieren sollte (vgl. Abbildung 1C). Technisch formuliert bedeutet das, dass es keine SOA-Effekte geben sollte, wenn eine RZ-Aufgabe und eine perzeptuelle Aufgabe zeitlich überlappend bearbeitet werden (d.h. in hybriden Doppelaufgaben-Kombinationen). Eine perzeptuelle Aufgabe ist dabei so definiert, dass sie keine unmittelbare motorische Reaktion erfordert. Beispielsweise könnte eine solche Aufgabe darin bestehen, sich einen kurzzeitig visuell dargebotenen Buchstaben zu merken, um ihn später zu berichten.

In Übereinstimmung mit dieser Vorhersage berichtete Pashler (1993) Experimente, in denen die Leistung in einer visuellen Kurzzeitgedächtnis (KZG)-Aufgabe nicht vom SOA zwischen einem auditorischen S1 und dem visuellen S2 abhing. Mit anderen Worten interferierte die Reaktionsauswahl in der ersten Aufgabe nicht mit der visuellen Verarbeitung in der zweiten Aufgabe. Pashler (1993) interpretierte diese empirisch gefundene Abwesenheit von Doppelaufgaben-Interferenz als Unterstützung der Modellvorstellung, dass der Verarbeitungseingpass allein auf der zentralen Stufe der Reaktionsauswahl liegt. Allerdings wurde diese Interpretation seit Mitte der 1990er Jahre empirisch zunehmend in Frage gestellt. So kritisierten etwa De Jong und Sweet (1994), dass Pashler (1993) zu kurze SOAs verwendet hat, so dass auch das längste SOA noch keine angemessene Kontrollbedingung im Sinne einer interferenzfreien Verarbeitung darstellte. Entsprechend verwendeten diese Autoren längere SOAs und fanden dann auch deutliche Leistungsbeeinträchtigungen in der visuellen Aufgabe, wenn das SOA kurz war relativ zu langem SOA. Dieser Befund wurde später von Jolicoeur (1999) bestätigt und konnte in der Folge vielfach nachgewiesen werden (Übersichten z. B. bei Jolicoeur et al., 2002; Müsseler & Wühr, 2002).

Zusammengenommen legen die Befunde nahe, dass ein Verarbeitungseingpass auch in perzeptuellen Aufgaben ohne direkte Reaktionsauswahl auftreten kann. Dies impliziert, dass das ursprüngliche Engpass-Modell modifiziert und erweitert werden muss. Diese theoretische Im-

plikation wird durch weitere, komplementäre Befunde untermauert.

So berichteten Jolicoeur und Dell'Acqua (1998) eine Serie von Experimenten, in denen die erste Aufgabe jeweils das Enkodieren von visueller Information in das KZG erfordert. Zum Beispiel mussten Probanden ein kurzzeitig dargebotenes und dann rückwärtsmaskiertes Symbol (etwa ein Buchstabe oder eine Ziffer) identifizieren und am Ende eines Versuchsdurchgangs berichten. Nach einem variablen SOA folgte allerdings zunächst ein auditorischer Stimulus (ein hoher oder tiefer Ton), auf den unmittelbar mit dem Drücken einer linken oder rechten Taste reagiert werden musste. Die Autoren fanden, dass die RZ auf den auditorischen Reiz bei kurzen SOAs deutlich höher als bei langen SOAs war. Diese Doppelaufgaben-Interferenz wurde umso größer, je mehr Items in der ersten Aufgabe zu verarbeiten waren. Dagegen verschwand der Effekt in einer Einzelaufgaben-Kontrollbedingung, in der das visuelle Display ignoriert werden konnte und nur auf den Ton zu reagieren war. Um diese Befunde zu erklären nahmen Jolicoeur und Dell'Acqua an, dass ein kapazitätslimitierter Verarbeitungsmechanismus die Information im visuellen KZG konsolidiert, und dieser Konsolidierungs-Mechanismus interferiert mit der Reaktionsauswahl in der zweiten Aufgabe (Jolicoeur et al., 2002).

Eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass Interferenz auch entsteht, wenn nicht-symbolische, räumliche Information in der perceptuellen Aufgabe zu enkodieren ist. So konnten wir in einer Reihe von Studien finden, dass das Enkodieren der Bewegungsrichtung eines sich nach links oder rechts bewegenden Punktes zu Interferenz in einer nachfolgenden RZ-Aufgabe führt (z. B. Koch, Metin & Schuch, 2003). Weiterhin konnten wir zeigen, dass nicht nur das Verarbeiten von elementaren Stimuli (z. B. Buchstaben, Ziffern, sich bewegende Punkte) in der visuellen Aufgabe zu Interferenz in der RZ-Aufgabe führt, sondern auch von Bildern von Alltagsgegenständen, die distinkt und hochvertraut sind und damit vermutlich besonders leicht gemerkt werden können (Koch & Rumiaty, 2006). Weitere Studien konnten nachweisen, dass perceptuelle Enkodierung nicht nur mit nachfolgenden Reaktionsauswahlprozessen interferiert, sondern auch mit der Initiierung bereits ausgewählter Reaktionen (Koch & Prinz, 2002, 2005).

An dieser Stelle sollte festgehalten werden, dass der Befund klarer Doppelaufgaben-Interferenz in solchen hybriden Aufgabenkombinationen von Pashlers (1994) Modell nicht nur *nicht* vorhergesagt werden kann, sondern dass Pashler (1993) das empirisch beobachtete Ausbleiben dieser Interferenz noch explizit als Unterstützung für sein Modell betrachtete. Diese Befunde müssen also Konsequenzen für die Modellbildung haben. Im folgenden wird aber zunächst noch ein weiterer Doppelaufgaben-Befund berichtet, der ohne Zusatzannahmen auch nicht vom zentralen Engpass-Modell vorhergesagt werden kann.

Das „Blinzeln“ der Aufmerksamkeit (attentional blink)

Zunächst unabhängig von der Forschung zum PRP-Effekt wurde ein Interferenz-Phänomen in Doppelaufgaben entdeckt, das als *attentional blink* (AB) bezeichnet wurde (Raymond, Shapiro & Arnell, 1992). Im AB-Paradigma müssen Probanden zwei vorher definierte Zielreize in einer schnellen Abfolge von visuellen Reizen (z. B. alle 100 ms) identifizieren. Das AB-Phänomen besteht darin, dass die Identifikationsleistung für den zweiten Zielreiz innerhalb eines Zeitraums von ungefähr 500 ms nach Darbietung des ersten Zielreizes deutlich beeinträchtigt ist. Der AB-Effekt ist ein Doppelaufgabeneffekt, denn die Beeinträchtigung der Identifikationsleistung für den zweiten Zielreiz zeigt sich nicht, wenn der erste Zielreiz ignoriert werden soll (für eine Übersicht vgl. z. B. Visser, Bischof & Di Lollo, 1999).

Es gibt verschiedene spezifische Erklärungsansätze für den AB-Effekt. Manche Ansätze gehen davon aus, dass der AB-Effekt u. a. mit der Zeitdauer des Wechsels der Aufmerksamkeit vom ersten auf den zweiten Zielreiz zusammenhängt (z. B. Potter, Chun, Banks & Muckenhoupt, 1998). Alternativ könnte der AB-Effekt auf der Zeitdauer basieren, den ein kapazitätslimitierter Mechanismus benötigt, um Information in das visuelle Kurzzeitgedächtnis (KZG) zu enkodieren (siehe Jolicoeur, Tombu, Oriet & Stevanovski, 2002). Derzeit scheint keiner dieser Ansätze eine befriedigende alleinige Erklärung für die Gesamtheit der empirischen Befunde zu geben (vgl. Kawahara, Enns & Di Lollo, 2006). Der entscheidende Punkt im vorliegenden Diskussionskontext ist aber, dass man das AB-Phänomen im Rahmen des Engpass-Ansatzes von Pashler zunächst kaum erwartet hätte, weil im AB-Paradigma zwei perceptuelle Aufgaben miteinander kombiniert werden, die jeweils keine unmittelbare Auswahl und Ausführung einer Reaktion erfordern.

Aufgabenähnlichkeit und Kompatibilitätsphänomene in Doppelaufgaben

Die bisherige Darstellung von Befunden zur Doppelaufgaben-Interferenz basierte auf Studien, in denen die Aufgaben zumeist eigens so konstruiert waren, dass es möglichst wenig inhaltliche Überschneidung zwischen den Aufgaben gab. Solche Befunde legen eine theoretische Betrachtung nahe, in der die Bearbeitung der jeweiligen Aufgaben im Prinzip unabhängig voneinander abläuft, so dass Interferenz nur dann entsteht, wenn sich zwei kapazitätslimitierte Verarbeitungsprozesse zeitlich überschneiden (Abbildung 1C). Doppelaufgaben-Interferenz ergibt sich entsprechend nur dann, wenn der Engpass-Mechanismus gerade belegt ist, so dass kritische Verarbeitungsprozesse in der anderen Aufgabe in der „Warteschlange“ stehen müssen. Allerdings lässt sich vielfach ein Phänomen beobachten, dass auf *inhaltsspezifische Interferenz* der in den beiden Aufgaben jeweils zu verarbeitenden Information zurückgeht. Die informations-

theoretische Metapher legt nahe, dass solche Phänomene auf einer unzureichenden Trennung der beiden „Informationskanäle“ basieren und hat so zur englischen Bezeichnung *crossstalk* geführt. Da solche Phänomene aber meistens auf der dimensionalen Überlappung (vgl. Kornblum, Hasbroucq & Osman, 1990) der Menge von Reizen und Reaktionen zwischen beiden Aufgaben beruhen, wird im Folgenden von *Kompatibilitätseffekten* gesprochen. Dimensionale Überlappung ist nach Kornblum und Kollegen dann gegeben, wenn die Mengen der Reize und der Reaktionen einander perzeptuell, konzeptuell oder strukturell ähneln. Im Kontext dieses Aufsatzes wird das Kompatibilitäts-Konzept allerdings nur auf die Kompatibilität *zwischen* Aufgaben (*cross-task compatibility*, vgl. Koch & Prinz, 2002) und nicht auf Kompatibilität zwischen Reiz und Reaktion *innerhalb* einer Aufgabe bezogen.

Solche Kompatibilitätsphänomene wurden z. B. in den oben beschriebenen Studien zur Enkodierung von visuellen Stimuli beobachtet (Koch & Prinz, 2002, 2005; Koch et al., 2003). So wurde etwa in der Studie von Koch und Rumiati (2006) gefunden, dass die räumliche Orientierung von zu enkodierenden visuell dargebotenen Alltagsobjekten (z. B. eine Espressokanne, bei der der Henkel entweder nach links oder rechts zeigte) die davon logisch völlig unabhängige manuelle Reaktion in einer nachfolgenden RZ-Aufgabe deutlich beeinflusste (d. h. kürzere RZ, wenn die Objektorientierung mit der Reaktionsseite räumlich übereinstimmte). Solche Kompatibilitätseffekte legen nahe, dass Konsolidierungsprozesse im visuellen KZG und Reaktionsauswahlprozesse nicht unabhängig voneinander ablaufen, so dass Information in der einen Aufgabe die Bearbeitung der anderen Aufgabe inhaltspezifisch beeinflusst (vgl. Logan & Gordon, 2001; Hommel, 1998; Navon & Miller, 1987).

Für Engpass-Modelle besonders problematisch sind allerdings Befunde, die nahe legen, dass Merkmale der *zweiten* Reaktion die Auswahl und Ausführung der ersten Reaktion beeinflussen können (z. B. Hommel, 1998; Miller, 2006; Wenke & Frensch, 2005). Zum Beispiel fand Hommel (1998) in PRP-Experimenten, dass eine erste manuelle Reaktion (links vs. rechts) schneller ist, wenn eine nachfolgende vokale Reaktion die Verbalisierung des gleichen (d. h. „kompatiblen“) räumlichen Konzepts („links“ vs. „rechts“) fordert. Dieser Befund legt nahe, dass die zweite Reaktion schon vor der ersten Reaktion ausgewählt wurde – ein Fall, der nach dem Engpass-Modell von Pashler (1994) ausgeschlossen ist. Solche Kompatibilitätseffekte sind allerdings vielfach gefunden worden (Überblick z. B. bei Lien & Proctor, 2002), so dass die allgemeine Gültigkeit des Modells von Pashler auch auf der Basis dieser Befunde zunehmend kritischer diskutiert wird.

Diskussion und theoretische Implikationen

In diesem Aufsatz wurden Befunde vorgestellt, die nahe legen, dass ein ausschließlich auf die Antwortauswahl

beschränktes Engpassmodell kein allgemeines Modell zur Doppelaufgaben-Interferenz darstellen kann. Im Folgenden werde ich zunächst diejenigen Befunde diskutieren, die den Prozess der Enkodierung ins visuelle KZG als kapazitätslimitiert und damit als potenziellen Engpass nahe legen. Dann werde ich Implikationen aus Befunden zu inhaltspezifischen Interferenzphänomenen (d. h. Kompatibilitätseffekte) diskutieren. Abschließend werde ich auf offene theoretische Fragen sowie auf praktische Schlussfolgerungen eingehen.

Einheit oder Vielfalt der Begrenzung der Verarbeitungskapazität?

Die empirischen Befunde legen eindeutig nahe, dass das Enkodieren von visueller Information in das KZG mit der zeitlich überlappenden Bearbeitung einer zweiten Aufgabe interferieren kann. Diese Interferenz kann in dreierlei Weise demonstriert werden. Erstens führt das visuelle Enkodieren von Information in einer Aufgabe bei kurzem SOA zu erhöhten RZ in einer RZ-Aufgabe (z. B. Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998; Koch & Rumiati, 2006; Koch & Prinz, 2002). Zweitens führt das Bearbeiten einer RZ-Aufgabe bei kurzem SOA zu einer Leistungsver schlechterung in visuellen KZG-Aufgaben (z. B. Jolicoeur, 1999). Drittens interferieren auch zwei visuelle KZG-Aufgaben miteinander, wenn der zeitliche Abstand der Reize kurz ist (d. h. im AB-Paradigma). Zusammengenommen legen diese Befunde nahe, dass auch visuelle Gedächtnisaufgaben einen Verarbeitungseingpass in Doppelaufgaben erzeugen können, der vermutlich auf dem Prozess der Konsolidierung von Information im KZG basiert (Jolicoeur et al., 2002; Marois & Ivanoff, 2005, für Übersichtsarbeiten).

Diese Befundlage wirft die Frage auf, ob das zentrale Engpass-Modell von Pashler (1994) noch haltbar ist. Nun könnte man zunächst versuchen zu argumentieren, dass Befunde in solchen speziellen Doppelaufgaben-Situationen nicht die Gültigkeit des Antwortauswahl-Engpassmodells für das PRP-Paradigma in Frage stellt, weil dieses Modell nur für die Kombination von zwei RZ-Aufgaben entwickelt wurde. Allerdings hat Pashler (1993) das Ausbleiben von Interferenz in hybriden Aufgabenkombinationen noch als Unterstützung für sein Modell betrachtet. Folglich erfordern die oben genannten neuen Befunde eine Revision des zentralen Engpassmodells.

Zwei theoretische Konsequenzen sind denkbar. Erstens wäre es möglich, dass es sich bei der Interferenz auf Grund von visueller KZG-Enkodierung um den Ausdruck eines *spezifischen* und völlig separaten Verarbeitungseingpasses handelt, der vom zentralen Engpassmodell nicht beschrieben werden kann. Es gäbe dann also (mindestens) zwei Engpässe, die im Prinzip aber unabhängig voneinander wären. Diese Engpässe wären möglicherweise spezifisch für die jeweilige Reiz- und Reaktionsmodalität. Entsprechend dieser theoretischen Vorstellung werden derzeit Hypothesen über spezielle Mechanismen geprüft sowie deren neurale Grundlage untersucht (Marois & Ivanoff, 2005).

Die theoretische Alternative wäre, das Konzept des „zentralen“ Engpasses zu erweitern. Eine Erweiterung wurde bereits von Pashler (1994, 2000) selbst durch die Spekulation angedeutet, dass der PRP-Effekt möglicherweise ein Spezialfall einer allgemeineren Verarbeitungsbegrenzung ist, nämlich dass zwei Gedächtnisabrufprozesse nicht gleichzeitig ablaufen können. Pashler spezifiziert hier allerdings explizit nur den Gedächtnis-Abruf als den funktionalen Ort des Engpasses: „It is the number of outputs, not the number of inputs, that determines whether a single retrieval or multiple retrievals are required“ (Pashler, 2000, S. 292). Diese Beschreibung wäre nun auf der Basis der neuen Befunde auch auf Enkodierprozesse zu verallgemeinern. Tatsächlich scheint Doppelaufgaben-Interferenz immer dann aufzutreten, wenn KZG-Prozesse gleichzeitig stattfinden müssen. Im PRP-Paradigma beziehen sich diese Prozesse auf den Abruf von S-R Regeln für die beiden RZ-Aufgaben (vgl. Pashler, 2000). Im AB-Paradigma betreffen die Gedächtnisprozesse vor allem das jeweilige Enkodieren von Items ins KZG (vgl. Jolicoeur et al., 2002; Marois & Ivanoff, 2005). In hybriden Aufgabenkombinationen interferiert entweder der Reaktionsauswahlprozess mit nachfolgenden visuellen Konsolidierungsprozessen oder, umgekehrt, Konsolidierungsprozesse mit nachfolgenden Prozessen der Reaktionsauswahl bzw. der Reaktionsinitiierung (Koch & Prinz, 2005). Dieses Befundmuster legt nahe, dass sowohl Input-Prozesse (perzeptuelle Enkodierung) als auch Output-bezogene Prozesse (Reaktionsauswahl und -initiierung) durch eine Kapazitätsbegrenzung charakterisiert sind. In diesem Sinne könnte man als Arbeitshypothese für die weitere Forschung postulieren, dass sowohl Enkodierprozesse als auch Abrufprozesse miteinander konkurrieren, um auf einen allgemeinen (d. h. amodalen) kapazitätsbegrenzten KZG-Mechanismus zuzugreifen (Jolicoeur et al., 2002).

Im Kontext einer Erweiterung des zentralen Engpassmodells ist es eine wichtige Frage für die zukünftige Forschung, inwieweit der in den beschriebenen Studien geforderte Enkodierungsprozess tatsächlich als *perzeptuelle* Verarbeitung bezeichnet werden kann. Es ist möglich, dass die Darbietung von visuellem Material zunächst sensorische Codes aktiviert, die dann in konzeptuelle Codes (oder verbale Codes) rekodiert werden, um die visuelle Information für die spätere Wiedergabe haltbar zu machen (vgl. Koch & Prinz, 2002). Es wäre dann also der *Akt der Umkodierung* von Information, der den Engpass in visuellen KZG-Aufgaben repräsentiert. In diesem Sinne erscheint es nun vor allem eine Frage der Konvention, ob man gewillt ist, diese Umkodierung als eine „innere Reaktion“ zu betrachten, deren Erzeugung mit der Auswahl weiterer (offener) Reaktionen interferiert (Koch & Prinz, 2005, für eine Diskussion). Von der Beantwortung dieser Frage hängt ab, ob man die oben beschriebenen neuen Befunde als Widerlegung oder als Ergänzung des zentralen Engpassmodells betrachten kann.

An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass sich diese beiden theoretischen Erklärungen, d. h. das potenzielle Vorhandensein von modalitätsspezifischen separaten Verarbeitungseingängen und die Existenz eines amoda-

len, allgemeinen Engpasses, nicht wechselseitig ausschließen. In jedem Fall sollte aber klar sein, dass das Engpass-Modell in seiner ursprünglichen Formulierung (z. B. Pashler, 1994) die Komplexität und Vielfalt der Phänomene der Doppelaufgaben-Interferenz nicht ausreichend erklären kann. Dieses Erklärungsproblem entsteht auch auf Grund von Befunden zur inhaltspezifischen Interferenz, die im folgenden diskutiert werden.

Inhaltsspezifische Interferenz: Kompatibilitätseffekte

Das ursprüngliche Modell von Pashler nimmt eine strikte Serialität auf der Ebene der Reaktionsauswahlprozesse an. Allerdings haben zahlreiche Studien gefunden, dass Merkmale der zweiten Reaktion die erste Reaktion beeinflussen können, obwohl dies nach Pashlers Modell gar nicht möglich sein sollte (vgl. z. B. Lien & Proctor, 2002; Logan & Gordon, 2001; Miller, 2006). Zur Erklärung solcher Befunde wurde spekuliert, dass die Reaktionsauswahl gar kein einheitlicher Prozess ist, sondern in zwei Subkomponenten aufgeteilt werden kann. Zunächst werden Reaktions-Codes automatisch voraktiviert, und diese Reaktionsaktivierung ist nicht kapazitätslimitiert (d. h. kann in beiden Aufgaben parallel ablaufen). Erst im zweiten Schritt kommt es zur „eigentlichen“ Reaktionsauswahl, die dann strikt seriell abläuft. Gemäß dieser Spekulation könnte also Information über die zweite Reaktion schon vor der eigentlichen Auswahl der ersten Reaktion zur Verfügung stehen und diese beeinflussen. Die finale Reaktionsauswahl bliebe dann dennoch ein Engpass in Doppelaufgaben (für Diskussionen vgl. Lien & Proctor, 2002; Paelecke & Kunde, 2007; Schubert, Fischer & Stelzel, in press). Durch diese Zusatzannahmen (d. h. die Fraktionierung des Reaktionsauswahlprozesses in Teilprozesse) könnte das Modell von Pashler (1994) solche Kompatibilitätseffekte erklären. Dadurch wäre aber das Modell seiner ursprünglichen Einfachheit und Eleganz beraubt. In diesem Sinne belegen also auch Kompatibilitätseffekte, dass das zentrale Engpassmodell der Weiterentwicklung bedarf (vgl. auch Hazeltine, Ruthruff & Remington, 2006).

Allerdings wurden auf Grund der zunehmenden Komplexität der Befunde in letzter Zeit auch wieder theoretische Alternativen zum Engpassmodell postuliert. Tatsächlich hat die auf der Basis des Modells von Pashler (1994) zunächst unerwartete Diversifizierung der Mechanismen der Doppelaufgaben-Interferenz zu einer Renaissance von Ressourcen-Modellen geführt. So schlagen etwa Tombu und Jolicoeur (2003) vor, dass die Annahme einer „zentralen“ Verarbeitungs-Ressource, die flexibel auf kapazitätslimitierte Prozesse aufgeteilt werden kann, die empirischen Befunde bei der Kombination von elementaren Aufgaben mindestens ebenso gut erklären kann wie Engpass-Modelle, die an einer strikt seriellen Verarbeitung an den kritischen Stufen festhalten (vgl. auch Navon & Miller, 2002). So könnte die Idee einer graduell und variabel aufteilbaren zentralen Ressource (z. B. Navon & Miller, 2002; Tombu & Jolicoeur, 2003) auch die oben be-

richteten Kompatibilitätsphänomene erklären. Dieser Idee zufolge würde z. B. die Reaktionsauswahl in der ersten Aufgabe, sagen wir, 90 % der verfügbaren Ressourcen zur Verfügung gestellt bekommen, während die Auswahl der zweiten Reaktion dann nur 10 % bekäme. Bei kurzem SOA würde demzufolge tatsächlich schon ein Teil der Reaktionsauswahl-„Arbeit“ in der zweiten Aufgabe verrichtet, und diese Information könnte dann die Reaktionsauswahl in der ersten Aufgabe beeinflussen (Tombu & Jolicoeur, 2003). Dieser Einfluss ist natürlich nur möglich, wenn die erste Reaktion nicht schon ausgeführt wurde, und so zeigen die Daten typischerweise, dass diese Art von Kompatibilitätseffekten mit zunehmendem SOA immer kleiner werden (Hommel, 1998).

Die obige Erklärung von Kompatibilitätseffekten in Doppelaufgaben zeigt, dass Ressourcen-Modelle sehr flexibel sind, wenn sie zur Erklärung von Interferenz in elementaren Aufgaben angewandt werden. Diese Flexibilität entsteht allerdings durch die Einführung eines neuen Konstrukts: Es muss eine Instanz geben, die über die Art der jeweiligen Verarbeitung sowie über die strategische Allokation von Verarbeitungs-Ressourcen entscheidet. Diese Entscheidung wird typischerweise einer *exekutiven Funktion* des kognitiven Systems zugeschrieben (Logan & Gordon, 2001), die die Reihenfolge in der Aufgabenbearbeitung festlegt und koordiniert und dabei entsprechend Ressourcen zuteilt. In der Tat ist es eine seit langem diskutierte theoretische Frage, inwieweit Doppelaufgaben-Interferenz der Ausdruck eines strukturell verankerten und damit kognitiv nicht beeinflussbaren Engpasses im Informationsverarbeitungssystem ist (Pashler, 1994) oder ob die Natur dieses Engpasses strategisch (d. h. kognitiv beeinflussbar) ist (Logan & Gordon, 2001; Meyer & Kieras, 1999; Navon & Miller, 2002; Tombu & Jolicoeur, 2003). Im nächsten Abschnitt werde ich skizzieren, welche theoretischen Perspektiven sich aus der Frage nach der kognitiven Steuerung für die aktuelle Doppelaufgaben-Forschung ergeben.

Theoretische Perspektiven

Die Renaissance der Ressourcen-Metapher in der Doppelaufgaben-Forschung und die damit verbundene Frage nach der kognitiven Kontrolle der Verteilung der Ressourcen legt nahe, Kontrollmechanismen auf einer hierarchisch höheren Ebene, nämlich der Aufgabenabfolge, zu untersuchen. In der Tat haben kürzlich Luria und Meiran (2003) systematisch die Abfolge der Aufgaben in PRP-Experimenten variiert (vgl. auch De Jong, 1995). Die Probanden bekamen dabei jeweils einen expliziten Hinweisreiz, der die Art der ersten und der zweiten Aufgabe spezialisierte. Luria und Meiran (2003) fanden, dass es Kosten beim Wechsel der Aufgabenabfolge relativ zu einer Wiederholung gibt. Diese Kosten zeigten sich sowohl in einer verlängerten Latenz der Bearbeitung der ersten Aufgabe als auch in einem vergrößerten PRP-Effekt (vgl. auch Koch & Rumiati, 2006; Schuch & Koch, 2004, 2006; Szameitat et al., 2006). Zur Erklärung dieser Koordinationskosten in Doppelaufgaben vermuteten Luria und Meiran (2003),

dass die Aufgabenfolge in Form eines mentalen Reihenfolge-Sets (*order set*) repräsentiert ist, und dass dieses Set „rekonfiguriert“ werden muss, wenn sich die Aufgabenfolge verändert. Luria und Meiran (2003) konzeptualisierten diesen Rekonfigurationsprozess als eine Art Engpass auf einer hierarchisch höheren Kontrollebene.

Die Vermutung einer expliziten Repräsentation der Aufgabenreihenfolge ist wichtig für die weitere Theoriebildung, weil hier die Beteiligung von aktiven Kontrollmechanismen in der Bearbeitung von Doppelaufgaben nahegelegt wird. Demgegenüber thematisiert das zentrale Engpass-Modell von Pashler (1994) diese Mechanismen gar nicht. Die Kosten beim Wechsel der Aufgabenfolge in Doppelaufgaben stellen damit eine theoretisch interessante Parallele dar zu den Kosten, die beim Wechsel zwischen strikt sequenziell zu bearbeitenden einzelnen Aufgaben beobachtet werden können (d. h. im Aufgabenwechsel-Paradigma, vgl. Monsell, 2003, für eine Übersicht). Es darf vermutet werden, dass sich die Frage nach den kognitiven Mechanismen der Koordination von Aufgabenfolgen im Sinne einer Sequenzrepräsentation in Zukunft als zunehmend wichtiges Thema der Forschung zum Multitasking etablieren wird (z. B. Koch, Philipp & Gade, 2006; Luria & Meiran, 2003; Schneider & Logan, 2006).

Schlussfolgerung

In diesem Aufsatz wurde eine Reihe von neueren Befunde integrativ im Hinblick auf das zentrale Engpass-Modell der Doppelaufgaben-Interferenz betrachtet. Dabei hat sich ergeben, dass das ursprüngliche Engpass-Modell zu spezifisch und rigide ist, um die Vielfalt der mittlerweile wohl-etablierten empirischen Befunde angemessen zu erklären. Derzeit werden verschiedene theoretische Alternativen diskutiert, die entweder Varianten von möglichen Erweiterungen und Verallgemeinerungen des ursprünglichen Engpass-Modells betreffen oder aber eine völlige Abkehr von der Engpass-Metapher und eine erneute Hinwendung zur Ressourcen-Metapher implizieren. In jedem Fall sollte klar geworden sein, dass die Forschung zur Doppelaufgaben-Interferenz rasant voranschreitet und viele neue empirische Befunde und theoretische Weiterentwicklungen erwarten lässt.

Vor dem Hintergrund der zahlreichen noch offenen theoretischen Fragen lassen sich dennoch klare *praktische Schlussfolgerungen* ableiten. So ist auf der Basis der neueren Befunde anzunehmen, dass Doppelaufgaben-Interferenz in vielfältigen Situationen entstehen kann, in denen zeitliche Überschneidungen von Enkodier- und Abrufprozessen stattfinden. Dabei stellt sich nun auch wieder die Frage, welche kognitiven Anforderungen etwa ein Telefongespräch stellen kann, wenn man gleichzeitig Auto fährt. Das Verbot des Telefonierens ohne Freisprechanlage legt nahe, dass Doppelaufgaben-Interferenz beim Autofahren nur in bezug auf den *motorischen* Aspekt des Telefonierens gesehen wird. Allerdings konnte z. B. eine Studie von Strayer, Drews und Johnston (2003) demonstrieren, dass vielfältige Aspekte der visuellen

Enkodierung während des Autofahrens durch das Telefonieren auch mit Freisprechanlage beeinträchtigt sind (vgl. Horrey & Wickens, 2006, für eine aktuelle Meta-Analyse). Vor diesem Hintergrund könnte der Gesetzgeber überdenken, ob eine Berücksichtigung der neuen empirischen Befundlage zu Doppelaufgaben-Interferenz in der Praxis nicht auch neue gesetzliche Regelungen erfordert.

Literatur

- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- De Jong, R. (1995). The role of preparation in overlapping-task performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48A, 2–25.
- De Jong, R. & Sweet, J. B. (1994). Preparatory strategies in overlapping-task performance. *Perception & Psychophysics*, 55, 142–151.
- Hazeltine, E., Ruthruff, E. & Remington, R. W. (2006). The role of input-output modality pairings in dual-task performance: Evidence for content-dependent central interference. *Cognitive Psychology*, 52, 291–345.
- Heuer, H. (1996). Doppeltätigkeiten. In O. Neumann & A. F. Sanders (Hrsg.), *Aufmerksamkeit Enzyklopädie der Psychologie*, Serie Kognition, Bd. 2 (S. 163–218). Göttingen: Hogrefe.
- Hommel, B. (1998). Automatic stimulus-response translation in dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 24, 1368–1384.
- Horrey, W. J. & Wickens, C. D. (2006). Examining the impact of cell phone conversations on driving using meta-analytic techniques. *Human Factors*, 48, 196–205.
- Jolicoeur, P. (1999). Dual-task interference and visual encoding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 25, 596–616.
- Jolicoeur, P. & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36, 138–202.
- Jolicoeur, P., Tombu, M., Oriet, C. & Stevanovski, B. (2002). From perception to action: Making the connection. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Attention and Performance XIX: Common mechanisms in perception and action* (pp. 558–586). Oxford: Oxford University Press.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. New York: Prentice Hall.
- Kawahara, J.-I., Enns, J. T. & Di Lollo, V. (2006). The attentional blink is not a unitary phenomenon. *Psychological Research*, 70, 405–413.
- Koch, I. & Jolicoeur, P. (2006). Process-based and code-based interference in dual-task performance. *Psychological Research*, 70, 403–404.
- Koch, I., Metin, B. & Schuch, S. (2003). The role of temporal uncertainty for process interference and code overlap in perception-action dual tasks. *Psychological Research*, 67, 244–252.
- Koch, I., Philipp, A. M. & Gade, M. (2006). Chunking in task sequences modulates task inhibition. *Psychological Science*, 17, 346–350.
- Koch, I. & Prinz, W. (2002). Process interference and code overlap in dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 28, 192–201.
- Koch, I. & Prinz, W. (2005). Response preparation and code overlap in dual tasks. *Memory & Cognition*, 33, 1085–1095.
- Koch, I. & Rumiati, R. I. (2006). Task-set inertia and memory-consolidation bottleneck in dual tasks. *Psychological Research*, 70, 448–458.
- Kornblum, S., Hasbroucq, T. & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility: A model and taxonomy. *Psychological Review*, 97, 253–270.
- Lien, M.-C. & Proctor, R. W. (2002). Stimulus-response compatibility and psychological refractory period effects: Implications for response selection. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 212–238.
- Logan, G. D. & Gordon, R. D. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychological Review*, 108, 393–434.
- Luria, R. & Meiran, N. (2003). Online order control in the psychological refractory period paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 29, 556–574.
- Marois, R. & Ivanoff, R. (2005). Capacity limits of information processing in the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 296–305.
- Meyer, D. E. & Kieras, D. E. (1999). Precis to a practical unified theory of cognition and action: Some lessons from EPIC computational models of human multiple-task performance. In D. Gopher & A. Koriati (Eds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 17–88). Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Miller, J. (2006). Backward crosstalk effect in psychological refractory period paradigms: Effects of second-task response types on first-task response latencies. *Psychological Research*, 70, 484–493.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 134–140.
- Müsseler, J. & Wühr, P. (2002). Response-evoked interference in visual encoding. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Attention and performance XIX: Common mechanisms in perception and action* (pp. 520–537). Oxford: Oxford University Press.
- Navon, D. (1984). Resources – A theoretical soup stone? *Psychological Review*, 91, 216–234.
- Navon, D. & Miller, J. (1987). Role of outcome conflict in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 13, 435–448.
- Navon, D. & Miller, J. (2002). Queuing or sharing? A critical evaluation of the single-bottleneck notion. *Cognitive Psychology*, 44, 193–251.
- Paelecke, M. & Kunde, W. (2007). Action-effect codes in and before the central bottleneck: Evidence from the PRP paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 33, 627–644.
- Pashler, H. (1993). Dual-task interference and elementary mental mechanisms. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Eds.), *Attention and performance XIV: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience* (pp. 245–264). Cambridge, USA: MIT Press.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220–244.
- Pashler, H. (2000). Task switching and multitask performance. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp. 277–307). Cambridge, MA: MIT Press.
- Potter, M. C., Chun, M. M., Banks, B. S. & Muckenhoupt, M. (1998). Two attentional deficits in serial target search: The visual attentional blink and an amodal task-switch deficit. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 24, 979–992.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L. & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 18, 849–860.
- Sanders, A. F. (1998). *Elements of human performance: Reaction processes and attention in human skill*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Schneider, D. W. & Logan, G. D. (2006). Hierarchical control of cognitive processes: Switching tasks in sequences. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*, 623–640.
- Schubert, T., Fischer, R. & Stelzel, C. (in press). Response activation in overlapping tasks and the response selection bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Schuch, S. & Koch, I. (2004). The costs of changing the representation of action: Response repetition and response-response compatibility in dual tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *30*, 566–582.
- Schuch, S. & Koch, I. (2006). Task switching and action sequencing. *Psychological Research*, *70*, 526–540.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extension of Donders' method. *Acta Psychologica*, *30*, 276–315.
- Strayer, D. L., Drews, F. A. & Johnston, W. A. (2003). Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *9*, 23–32.
- Szameitat, A., Schubert, T., Lepsien, J., von Cramon D. Y. & Sterr, A. (2006). Task-order coordination in dual task performance and the lateral prefrontal cortex: an event-related fMRI study. *Psychological Research*, *70*, 541–552.
- Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative responses. *Journal of Experimental Psychology*, *14*, 1–36.
- Tombu, M. & Jolicoeur, P. (2003). A central capacity sharing model of dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *29*, 3–18.
- Visser, T. A. W., Bischof, W. F. & Di Lollo, V. (1999). Attentional switching in spatial and nonspatial domains: Evidence from the attentional blink. *Psychological Bulletin*, *125*, 458–469.
- Welford, A. T. (1952). The „psychological refractory period“ and the timing of high-speed performance – A review and a theory. *British Journal of Psychology*, *43*, 2–19.
- Wenke, D. & Frensch, P. A. (2005). The influence of task instruction on action coding: Constraint setting or direct coding? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *31*, 803–819.
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63–102). New York: Academic Press.

Prof. Dr. Iring Koch

Institut für Psychologie
 RWTH Aachen
 Jägerstraße 17–19
 52056 Aachen
 E-Mail: koch@psych.rwth-aachen.de