

Wissen wir, was wir tun? - Verteilte Rollen von Bewusstem und Unbewusstem in der Handlungskontrolle

Bernhard Hommel, Universität Leiden

1. Menschliche Handlungskontrolle: Online und offline

In den kognitiven Wissenschaften ist es üblich, menschliches Verhalten als eine Abfolge von Verarbeitungsprozessen abzubilden - mit dem Ziel, die Identitäten und die Reihenfolge der involvierten Prozesse zu bestimmen. Deutlich erkennbar ist diese Art der Analyse bei Neisser (1967), der in der Identifikation von Verarbeitungsstufen von der ersten Reizanalyse bis zu den höchsten kognitiven Prozessen das vorrangige Ziel der modernen kognitiven Psychologie sah. In gewisser Weise folgte selbst der behavioristische Ansatz der Psychologie dieser vom Reiz zur Reaktion durchlaufenden Analyselogik, auch wenn zahlreiche kognitive Zwischenglieder in der Theoriebildung ausgespart wurden. Der erste Stufentheoretiker war jedoch Donders, der 1868 schon einfachste Handlungen in nicht weniger als 12 Verarbeitungsstufen zerlegte, beginnend mit der Einwirkung von Umweltinformation auf die Sinnesorgane und endend mit der Überwindung der Trägheit des betreffenden Effektors. Die Kontrolle der Handlung findet ungefähr in der Mitte dieser Stufenabfolge statt - diese "Determination des Wollens", wie es Donders nannte, besteht in der selektiven Übersetzung von Reizinformation in Reaktionsaktivierung.

Tatsächlich entspricht die Stufenlogik auch unserem Alltagsverständnis menschlichen Handelns: wir sammeln Informationen, entscheiden auf deren Basis über die beste Handlungsstrategie und führen dann die angemessene Handlung aus. Und bei komplexen, zeitlich erstreckten Handlungszusammenhängen, wie bei der Planung einer Urlaubsreise, mag es ja auch so funktionieren. Dennoch werde ich im folgenden nachzuweisen versuchen, dass die Stufenlogik allein ein unangemessenes und irreführendes Modell intentionalen Handelns nahe legt - ein Modell nämlich das Handeln auf die Stimulationsbedingungen zurückführt und durch den Reiz "erklärt", statt durch das eigentlich verantwortliche Handlungsziel.

Bei der Ausführung einfacher Reaktionen auf Reize machte Exner (1879) eine für unseren vorliegenden Zusammenhang sehr bedeutsame Selbstbeobachtung: er stellte nämlich fest, dass sich die bewussten Anteile sei-

ner Handlungskontrolle ausschließlich auf die Vorbereitung der Handlung vor Auftreten des Reizes beschränkten, während er die eigentliche Handlungsausführung als eine Art *vorbereiteten Reflex* (s. Hommel, 2000) erlebte. Während also die Donders'sche Stufenlogik die Handlungskontrolle zwischen Reiz und offener Reaktion ansiedelt, richtet Exners Beobachtung unsere Aufmerksamkeit auf die Zeit vor dem Reiz, auf die Vorbereitung. Die These, die ich im folgenden entwickeln möchte, geht davon aus, dass diese zwei Sichtweisen auf unterschiedliche, miteinander interagierende Komponenten der menschlichen Handlungskontrollen zielen (vgl. Hommel, Müsseler, Aschersleben & Prinz, 2001a; Neumann & Prinz, 1987). Exners Komponente arbeitet *offline*, das heißt antizipativ und unabhängig von den momentanen Reizbedingungen. Donders' Komponente arbeitet dagegen *online* und übersetzt die momentanen Reizbedingungen in angemessene Handlungen. Die Beziehung zwischen den beiden Komponenten ist asymmetrisch, die Online-Komponente arbeitet nach Maßgabe der Offline-Komponente und wird durch diese erst implementiert. Unser Alltagsverständnis von bewusster, reiflich abgewogener Handlungskontrolle deckt sich mehr oder weniger mit der Offline-Komponente und hat mit der Online-Komponente nur wenig zu tun. Tatsächlich gibt es praktisch keine Anhaltspunkte dafür, dass die Online-Übersetzung zwischen Reizen und (offline vorbereiteten) Reaktionen von bewusster Vermittlung abhängen könnte.

Bevor ich die Interaktionen zwischen Offline- und Online-Kontrolle in der Reaktionsauswahl, der Reizverarbeitung und der Reaktionsausführung etwas detaillierter diskutiere, möchte ich anhand eines Beispiels darlegen, wieso wir eigentlich von solch einer Interaktion ausgehen müssen und wie sie konkret aussehen könnte. Das Beispiel stammt aus Untersuchungen zum so genannten Simon-Effekt (Simon & Rudell, 1967). Diesen Effekt findet man in Experimenten, in denen Versuchspersonen räumliche Reaktionen auf nicht-räumliche Merkmale räumlich variierender Reize ausführen (s. Abb. 1). Nehmen wir zum Beispiel an, in jedem Versuchsdurchgang erscheint entweder ein roter Reiz, der mit dem Druck der linken von zwei horizontal angeordneten Tasten zu beantworten ist, oder ein grüner Reiz, der den Druck der rechten Taste erfordert. Nehmen wir weiter an, dass der Reiz zufällig und unvorhersagbar auf einer linken oder rechten Position eines Bildschirms erscheint. In einigen Durchgängen erscheint der Reiz also zufällig auf der Seite, auf der auch die Reaktion auszuführen ist -

Reizposition und Reaktionsposition entsprechen einander und sind *kompatibel*. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass diese Kompatibilität die Reaktion beschleunigt und die Fehler reduziert (Übersicht bei Lu & Proctor, 1995): das ist der Simon-Effekt.

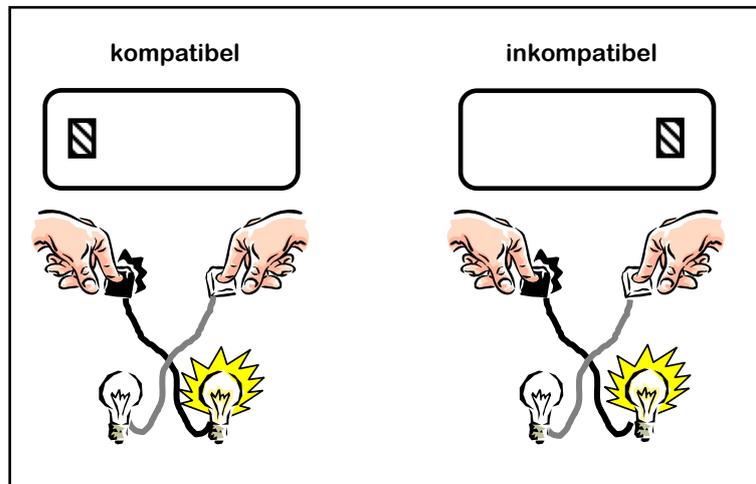


Abb. 1: Kompatible und inkompatible Bedingungen im Simon-Versuch. Versuchspersonen reagieren mit räumlich definierten Reaktionen (hier: Drücken einer linken oder rechten Taste) auf ein nicht-räumliches Merkmal (z.B. die Farbe) von Reizen. Die Reizposition variiert zufällig und ist daher uninformativ. Dennoch reagieren Versuchspersonen schneller und häufiger korrekt, wenn der Reiz und die Reaktion räumlich übereinstimmen (kompatibel sind) als wenn sie nicht übereinstimmen (inkompatibel sind). In der Studie von Hommel (1993a) schaltete jeder Tastendruck ein Licht auf der gegenüberliegenden Seite an, wie hier für das Beispiel einer linken Reaktion gezeigt. Die Reize bestanden in dieser Studie aus hohen und tiefen Tönen.

Die gängige Interpretation des Simon-Effekts geht davon aus, dass die Position eines Reizes automatisch verarbeitet wird und die räumlich korrespondierende Reaktion direkt aktiviert. Wenn diese aktivierte Reaktion auch tatsächlich ausgeführt werden muss (wenn also die Übersetzung des relevanten Reizmerkmals dieselbe Reaktion aktiviert), bedeutet das eine zusätzliche Aktivierung der Reaktion, was wiederum eine schnellere Initiierung ermöglicht (z.B. De Jong, Liang, & Lauber, 1994; Hommel, 1993b; Kornblum, Hasbroucq, & Osman, 1990). Durch zwei Beobachtungen erhielt

die Annahme einer automatischen Reaktionsaktivierung weitere Unterstützung. Erstens konnte gezeigt werden, dass die Verarbeitung einer aufgabenirrelevanten Reizposition ein so genanntes Lateralisiertes Bereitschaftspotenzial (LRP, für Lateralized Readiness Potential) für die räumlich korrespondierende Reaktion hervorruft (Sommer, Leuthold, & Hermanutz, 1993). Dieses Potenzial reflektiert die Aktivierung der für eine Reaktion verantwortlichen Gehirnhälfte und wird gemeinhin als Maß für die Aktivierung einer Reaktion interpretiert (Eimer, 1997). Besonders interessant ist das Befundmuster in inkompatiblen Durchgängen, wenn also Reiz und Reaktionen räumlich nicht korrespondieren. Der Reiz ruft dann ein LRP der falschen (d.h. räumlich korrespondierenden) Reaktion hervor, das erst langsam durch das LRP der richtigen Reaktion ersetzt wird. Weitere Unterstützung für die Annahme einer automatischen Reizverarbeitung ergibt sich aus der Beobachtung, dass selbst unbewusste Reize ein LRP verursachen (Eimer & Schlaghecken, 1998).

Der Simon-Effekt ist nur eines von vielen Phänomenen, die zeigen, wie weitgehend automatisch auch aufgabenirrelevanten Reize Handlungstendenzen aktivieren können (Hommel, 2000). Wenn man nun Donders in der Annahme folgt, dass sich die menschliche Handlungskontrolle in der selektiven Übersetzung relevanter Reize in angemessene Reaktionen erschöpft, dann bedeuten die Nachweise automatischer, d.h. intentionsunabhängiger Übersetzung nichts anderes als dass die Handlungskontrolle versagt hat. Es gibt jedoch einige Hinweise darauf, dass neben dieser offensichtlich fehlerhaften Online-Kontrolle auch Kontrollkomponenten existieren, die offline arbeiten.

Eines dieser Beispiele stammt aus der Untersuchung von Hommel (1993a). Versuchspersonen reagierten mithilfe von linken und rechten Tastendrücken auf tiefe und hohe Töne, die zufällig durch einen linken oder rechten Lautsprecher angeboten wurden: eine Simon-Aufgabe. Wie zu erwarten, waren in einer Kontrollbedingung die Leistungen besonders gut, wenn die Tonposition mit der Reaktionsposition übereinstimmte. In einer zweiten Bedingung wurden die Reaktionstasten überkreuz mit zwei Lampen verbunden, sodass der Druck der linken Taste die rechte Lampe einschaltete und umgekehrt (s. Abb. 1). Wenn man unter diesen Bedingungen die Versuchspersonen instruiert auf einen tiefen (hohen) Ton "die linke (rechte) Taste zu drücken", findet man wieder einen normalen Simon-Effekt, d.h.

die linke Taste wird schneller gedrückt, wenn der tiefe Ton links ertönt und die rechte Taste wird schneller gedrückt, wenn der hohe Ton rechts ertönt. Instruiert man die Versuchspersonen aber auf einen tiefen (hohen) Ton "die rechte (linke) Lampe einzuschalten", dreht sich der Effekt um: die linke Taste ist schneller bei einem rechten Ton und die rechte Taste ist schneller bei einem linken Ton. Einerseits haben wir es hier wieder mit einem Versagen der Online-Handlungskontrolle zu tun, da ja irrelevanten Reizpositionen wieder in Handlungstendenzen übersetzt werden. Andererseits kann aber eine kleine Veränderung in der Instruktion bewirken, dass ein und derselbe Reiz einmal in eine linke und einmal in eine rechte Reaktion übersetzt wird.

Ein zweites instruktives Beispiel stammt aus der Untersuchung von Valle-Inclán und Redondo (1998). Auch hier reagierten die Versuchspersonen Mithilfe linker und rechter Tastendrucke auf nicht-räumliche Reizmerkmale, aber die Reiz-Reaktionszuordnung wechselte zufällig von Durchgang zu Durchgang. In einer Bedingung wurde erst die gültige Zuordnung und dann erst der Reiz dargeboten. Ein normaler Simon-Effekt wurde gefunden. In einer anderen Bedingung wurde erst der Reiz und dann die jeweils gültige Zuordnung dargeboten, was den Simon-Effekt eliminierte. Vollkommen "automatisch" scheint die Übersetzung von Reizposition in Handlungstendenz also nicht zu sein, sie erfordert vielmehr eine gewisse Art der Vorbereitung auf die Aufgabe. Auch wenn diese Vorbereitung die Übersetzung selbst nicht verhindern kann, sondern im Gegenteil erst ermöglicht, so bestimmt sie doch welcher Reiz schließlich in welche Reaktion übersetzt wird - wie der Instruktionseffekt von Hommel (1993a) gezeigt hat. Ganz im Sinne von Exner richtet diese Art der Vorbereitung das kognitive System so ein, dass es später beim Erscheinen der betreffenden Reize reflexartig reagiert: schnell also, ohne viel Nachdenken, (dadurch?) aber anfällig für irrelevante Information. Gehen wir nun der Frage nach, wie diese Offline-Kontrolle menschlichen Handelns funktioniert und wie sie mit der Online-Komponente interagiert.

2. Online- und Offline-Kontrolle bei der Reaktionsauswahl

In neuen, ungewohnten Situationen ist die Auswahl der richtigen Handlung sehr aufwändig - schließlich werden Handlungen nicht um ihrer selbst willen ausgeführt, sondern weil sie dem momentanen Ziel dienliche Konse-

quenzen zeitigen. Diese Konsequenzen müssen aber vor der Handlungsauswahl ermittelt und sorgfältig gegeneinander abgewogen werden, um die beste Handlung auswählen zu können. Wer jemals eine private oder berufliche Bindung eingegangen ist oder ein teures Produkt erworben hat weiß, wie lange das dauern kann. Glücklicherweise sind diese Situationen selten, sodass wir in vielen Fällen schon eine Ahnung darüber haben, im Falle welcher Reizbedingungen wir welche Reaktionen ausführen sollten. Für psychologische Experimente und sportliche Wettkämpfe trifft das häufig in besonderem Masse zu. Dies legt nahe, dass die Reaktionsauswahl bei solchen Anlässen nicht auf den Reiz wartet, wie es der Donders'sche Stufenansatz impliziert, sondern in gewisser Weise schon vor dem Erscheinen des ersten Reizes stattgefunden hat. Um stattfinden zu können, um also Reaktionen nach Maßgabe ihrer Konsequenzen auswählen und festlegen zu können, sind Handlungsrepräsentationen erforderlich, die Handlungen mit ihren Effekten verknüpfen.

Wie derartige Handlungsrepräsentation entstehen, ist Gegenstand der ideomotorischen Theoriebildung seit Lotze (1852) und James (1890), sowie der Theorie der Ereigniskodierung (TEC: Hommel, Müsseler, Aschersleben, & Prinz, 2001a). Das ideomotorische Prinzip geht davon aus, dass Handlungsrepräsentation durch Selbstbeobachtung entstehen. Der oder die Handelnde führt zunächst mehr oder weniger willkürliche Bewegungen aus und beobachtet die dadurch entstehenden externalen und internalen perzeptiven Konsequenzen - d.h. die durch diese Bewegungen hervorgerufenen wahrnehmbaren Ereignisse. Die perzeptiven Codes dieser Ereignisse werden dann automatisch mit den zeitlich damit einhergehenden motorischen Mustern integriert, sodass sensomotorische Einheiten entstehen (Elsner & Hommel, 2001). Der zunächst zufällige Fußtritt gegen eine Dose führt so zu der Verknüpfung des für den Tritt verantwortlichen motorischen Musters mit der Wahrnehmung eines weg fliegenden Objektes. Einmal erworben, können derartige *Handlungskonzepte* (Hommel, 1997) in beide Richtungen gebraucht werden: zur Vorhersage der sensorischen Konsequenzen einer Bewegung und zur Auswahl einer Bewegung nach Maßgabe ihrer sensorischen Konsequenzen. Und um letzteres geht es ja bei der zielgerichteten Reaktionsauswahl.

Zahlreiche Befunde belegen, dass menschliches Handeln mit der kontinuierlichen Integration von Bewegungsmustern und ihren sensorischen Kon-

sequenzen einhergeht (siehe die Übersicht bei Hommel, 2003). Elsner und Hommel (2001) ließen Versuchspersonen z.B. linke und rechte Tastendrucke ausführen und boten bei jedem Tastendruck systematisch einen von zwei Tönen dar - z.B. produzierte die linke Taste stets einen tiefen Ton und die rechte Taste stets einen hohen Ton. Nach einer Reihe von Durchgängen erhielt eine Gruppe von Versuchspersonen die Instruktion, auf tiefe Töne (die nun als Reize dargeboten wurden) mit der linken Taste und auf hohe Töne mit der rechten Taste zu reagieren. Eine zweite Gruppe von Versuchspersonen erhielt die umgekehrte Instruktion, sie sollten also mit der linken Taste auf hohe Töne und mit der rechten Taste auf tiefe Töne reagieren. Die Leistungen der zweiten Gruppe waren in der zweiten Versuchsphase wesentlich schlechter als die der ersten Gruppe, was darauf hinweist, dass beide Gruppen in der ersten Versuchsphase automatisch Assoziationen zwischen Tastendruck und Tönen gebildet hatten - Assoziationen, die konsistent mit dem Auftrag der ersten Gruppe waren, aber inkonsistent mit dem Auftrag der zweiten Gruppe. Ähnliche Transfereffekte lassen sich bereits bei Kindern im Alter von vier Jahren nachweisen (Eenshuijstra, Weidema, & Hommel, 2004) und selbst Säuglinge scheinen Handlungseffekte spontan zu integrieren (Rochat & Striano, 1999).

Weitere, relativ direkte Evidenz für die Bildung sensomotorischer Einheiten beim Handeln ist der PET-Studie von Elsner et al. (2002) zu entnehmen. Hier hatten Versuchspersonen wiederum die Gelegenheit, willkürliche Tastendrucke auszuführen, die Töne einer bestimmten Frequenz hervorriefen. Anschließend erhielten die Versuchspersonen den Auftrag, einen bestimmten Ton aus einer langen Sequenz zufällig angeordneter Töne herauszuhören. Einige dieser Töne waren diejenige, die die Versuchspersonen zuvor aktiv produziert hatten. Während der Höraufgabe befanden sich die Versuchspersonen in einem PET-Scanner, der die Aufzeichnung ihrer Gehirnaktivitäten erlaubte. Das bloße Hören zuvor produzierter Töne aktivierte das Supplementär-Motorische Areal (SMA), ein Hirnareal, das eine zentrale Rolle bei der Planung von Handlungen spielt (Stephan et al., 1995; Tyszka, Grafton, Chew, Woods, & Colletti, 1994).

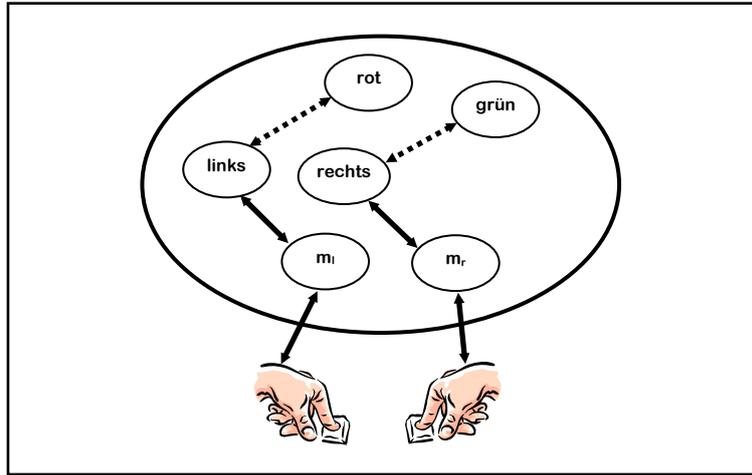


Abb. 2: Kognitive Strukturen in einer Simon-Aufgabe, hier am Beispiel einer Zuordnung von roten und grünen Reizen zu linken und rechten Reaktionen. Durchgezogene Linien innerhalb des kognitiven Systems repräsentieren Langzeit-Assoziationen, gestrichelte Linien dagegen Kurzzeit-Assoziationen - die allerdings durch Übung in Langzeit-Assoziationen überführt werden können. m_l und m_r stehen für die ausführenden motorischen Muster.

Der Nachweis, dass die Erfahrung systematisch vorkommender Handlungseffekte zu deren Integration führt, belegt noch nicht, dass die dabei entstehenden sensomotorischen Einheiten auch tatsächlich zur Handlungsplanung gebraucht werden. Auch dafür gibt es jedoch Anzeichen. Ein wichtiger Beleg stammt von Kunde, Hoffmann und Zellmann (2002), in deren Studie Versuchspersonen jeweils eine von vier Reaktionsalternativen auszuwählen hatten. Jeweils zwei der Reaktionen erzeugten denselben akustischen Handlungseffekt, einen Ton einer bestimmten Höhe. Zu Beginn eines jeden Durchgangs wurde mitgeteilt, welche Reaktionsalternative die wahrscheinlichste sein würde, verbunden mit der Bitte, sich auf diese Alternative vorzubereiten. Interessant waren nun die Durchgänge, in denen schließlich eine andere Alternative verlangt wurde, die Versuchspersonen also falsch vorbereitet waren. Natürlich waren in diesen Durchgängen die Reaktionen langsamer. Sie waren jedoch immer noch relativ schnell, wenn die korrekte Alternative denselben Handlungseffekt hatte als die vorbereitete Alternative. Die Vorbereitung einer Handlung scheint also mit der Aktivierung anderer Handlungen mit demselben Handlungseffekt einher zu gehen,

was wiederum nahe legt, dass Handlungseffekte bei der Handlungsplanung betroffen sind. Dieselbe Schlussfolgerung wird durch Beobachtungen nahe gelegt, dass Handlungen schneller geplant werden können, wenn ihre Effekte handlungskompatibel sind (Koch & Kunde, 2002; Kunde, 2001; Kunde, Koch & Hoffmann, 2004).

Wie hat man sich nur die Rolle von Handlungseffekten bei der Online- und Offline-Kontrolle von Handlungen vorzustellen? Die Übernahme einer neuen Aufgabe scheint zunächst zur Bestimmung der relevanten Handlungsalternativen zu führen, z.B. der zum Druck einer linken und rechten Taste erforderlichen Handlungskonzepte in einer Simon-Aufgabe. Abb. 2 skizziert, wie diese Handlungskonzepte aussehen könnten: Merkmalsverbände, die unter anderem Codes für die Handlungseigenschaften LINKS und RECHTS umfassen. Diese Handlungskonzepte müssen nun mit den zugehörigen relevanten Reizeigenschaften verknüpft werden, ROT und GRÜN in unserem Beispiel. Die Festlegung der relevanten Verknüpfungen erlaubt die Ausführung der korrekten Reaktionen, sobald die entsprechenden Reize auftreten. Unglücklicherweise (oder, in kompatiblen Durchgängen, glücklicherweise) enthalten die relevanten Handlungskonzepte jedoch Codes, die einen Bezug zu den aufgabenirrelevanten räumlichen Reizeigenschaften haben. Erscheint der rote Reiz auf der linken Seite, wird er den Code ROT aktivieren, der seinerseits das korrekte Handlungskonzept aktiviert, sowie den Code LINKS, der ebenso mit dem korrekten Handlungskonzept verbunden ist. Erscheint der rote Reiz jedoch auf der rechten Seite, aktiviert er neben dem Code ROT auch den Code RECHTS, der das falsche Handlungskonzept aktiviert und so einen zeitintensiven Handlungskonflikt auslöst. Durch Anpassung der Assoziationsstärke zwischen den relevanten Reizaspekten und den betreffenden Handlungskonzepten kann sichergestellt werden, dass die richtige Reaktion zumindest meistens gewinnt, aber ganz ausgeschlossen werden kann ein Konflikt nicht - weder durch Offline- noch durch Online-Kontrolle.

Neben der Auswahl der relevanten Handlungskonzepte und Reizeigenschaften, sowie der Verknüpfung zwischen ihnen, scheint eine wesentliche Aufgabe der Offline-Kontrolle in der Anpassung der Handlungskonzepte an die aktuellen situativen Gegebenheiten zu bestehen. Dies ergibt sich unter anderem aus der Untersuchung von Hommel (1993a). Die Erfahrung, dass ein *linker* Tastendruck das Aufleuchten einer *rechten* Lampe zur Folge hat,

erweitert das betreffende "linke" Handlungskonzept um einen in diesem Fall RECHTEN Kode, und umgekehrt.

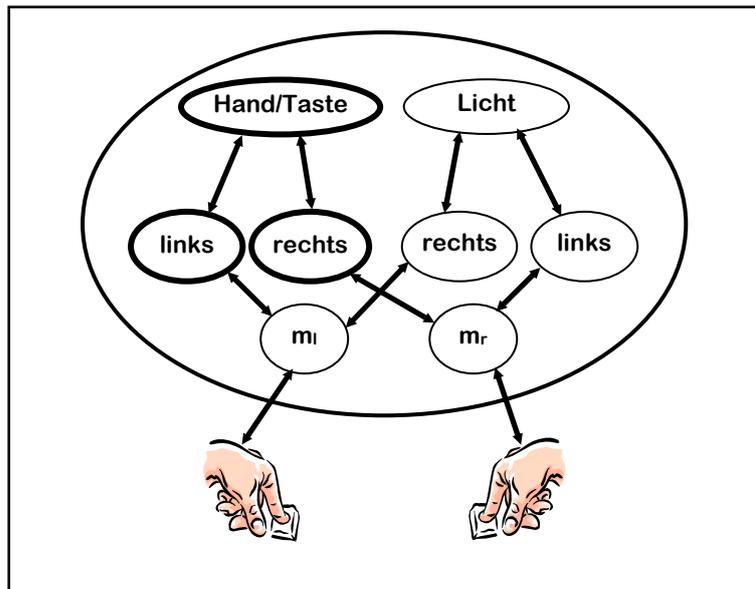


Abb. 3: Der Einfluss der intentionsgesteuerten Aufmerksamkeit auf die Wirksamkeit kognitiver Strukturen in einer Simon-Aufgabe (s. Hommel, 1993). Im Normalfall (bei tastenbezogener Instruktion und Intention) werden die motorischen Muster der linken und rechten Tastendrücke (m_l und m_r) mit Bezug auf die Position der Hand bzw. der Taste kodiert (s. fette "Kodes"). Durch eine lichtbezogene Instruktion und Intention wird die Aufmerksamkeit auf lichtbezogene Codes gelenkt, was die räumliche Umkodierung der Reaktionen zur Folge hat.

Wie wir gesehen haben, reicht die bloße Beschreibung der Reaktion als "linker Tastendruck" bzw. "rechte Lichtproduktion" aus, um den einen oder den anderen der alternativen räumlichen Codes ein- bzw. auszublenden (siehe Abb. 3). Instruktionen (ob nun Selbstinstruktionen oder vermittelt durch einen Versuchs- oder Trainingsleiter) haben also unter anderem eine die Aufmerksamkeit steuernde Funktion: die Beschreibung einer Reaktion als linker Tastendruck richtet die Aufmerksamkeit auf Handlungseffekte die mit dieser Beschreibung verbunden sind; dies könnten taktile Empfindungen der Fingerbewegung, die visuelle Beobachtung des Tastendrucks

und/oder akustische Begleiterscheinungen sein. Alle diese Effekte haben die Eigenschaft sich auf der linken Seite zu befinden (wenn wir hier der Einfachheit halber mal von der Frage der räumlichen Referenzsysteme absehen), sodass die gesamte Handlung vornehmlich oder vollständig als LINKS kodiert wird. Als Folge wird das betreffende Handlungskonzept automatisch von linken Reizen aktiviert, wie im normalen Simon-Effekt. Im Gegensatz dazu richtet die Beschreibung einer Reaktion als rechte Lichtproduktion die Aufmerksamkeit auf das Licht und dessen Position. Dies betont die der Taste gegenüberliegenden Effekte und führt dazu, dass die gesamte Handlung vornehmlich oder vollständig als RECHTS kodiert und somit durch rechte Reize aktiviert wird. Wie selektiv diese Art der Offline-Kontrolle sein kann, ist noch unklar. In einigen Fällen scheint allein die Nützlichkeit bestimmter Handlungseffekte darüber zu entscheiden, ob sie zur aktuellen Kodierung einer Handlung herangezogen werden oder nicht (Hommel, 2004), während in anderen Fällen auch aufgabenirrelevante Handlungskodierungen eine wenn auch kleine Rolle spielen können (Hommel, 1993a).

3. Online- und Offline-Kontrolle bei der Reizverarbeitung

Unseren bisherigen Überlegungen zufolge beeinflusst die Vorbereitung auf eine Handlung (d.h. die Offline-Kontrolle) die Ausrichtung der Aufmerksamkeit. In speziellen Fällen könnte sich dies auf die räumliche Ausrichtung des Fokus' der Aufmerksamkeit beziehen, aber zumeist wird es eher darum gehen, das kognitive System für Reize und Reaktionen *aufgabenrelevanter Dimensionen* vorzubereiten. So sollte die Intention ein Glas zu ergreifen die Aufmerksamkeit auf Reizdimensionen richten, die für die Steuerung der Greifhandlung besonders relevant sind: Größe, Entfernung, etc. Wie stark die Koppelung zwischen der Art der vorbereiteten Handlung und der Aufmerksamkeitsausrichtung ist, wird durch Untersuchungen von Schubotz & von Cramon (2003) deutlich. Darin wurden Versuchspersonen gebeten auf regelverletzende Reize bestimmter Dimensionen zu achten, während ihre Hirnaktivitäten mittels fMRI aufgezeichnet wurden. Obwohl es sich dabei um eine pur visuelle Aufgabe handelte, wurden Gebiete im prämotorischen Kortex aktiviert. Welche Gebiete aktiviert wurden, hing von der relevanten Reizdimension ab: die Beachtung der Reizposition führte zur Aktivierung von Gebieten, die für die Steuerung von Zeigebewegungen verantwortlich

sind; die Beachtung von Formeigenschaften führte zur Aktivierung von greifbezogenen Gebieten; während die Beachtung von rhythmischen Eigenschaften zur Aktivierung von Gebieten führte, die mit der Steuerung von Klatsch- und Sprechbewegungen beschäftigt sind. Schubotz & von Cramon nehmen an, dass es sich bei den betroffenen Gebieten um Systeme handelt, die Handlungsmuster mit sensorischen Handlungseffekten verknüpfen - also Handlungskonzepte (Hommel, 1997) bzw. Ereignisdateien i.S. von TEC.

In einer jüngeren Untersuchung haben Fagioli, Hommel und Schubotz (im Druck) geprüft, inwieweit diese Überlegungen auch auf die Offline-Kontrolle zutreffen. Versuchspersonen erhielten den Auftrag, eine Zeige- oder eine Greifhandlung vorzubereiten, aber noch nicht auszuführen. Zwischen Vorbereitung und Ausführung mussten sie noch einen visuellen Reiz identifizieren, der sich entweder durch seine abweichende Form oder seine abweichende Position definierte. Wie vorhergesagt, hing die Identifikationsleistung von der Handlungsvorbereitung ab: formdefinierte Reize wurden besser erkannt wenn eine Greifhandlung vorbereitet wurde, während positionsdefinierte Reize besser erkannt wurden, wenn eine Zeigehandlung vorbereitet wurde. Dies unterstützt die Annahme, dass die Offline-Kontrolle das kognitive System auf die Verarbeitung von handlungsbezogenen Reizdimensionen vorbereitet.

Zusammengefasst können wir also davon ausgehen, dass die Vornahme, eine bestimmte Art von Handlung auszuführen, zu einer dimensionsspezifischen Ausrichtung der Aufmerksamkeit führt. Reizmerkmale, die auf diesen Dimensionen definiert sind, werden bevorzugt verarbeitet und erhalten einen privilegierten Zugang zur (Online-) Handlungskontrolle. Welche Klassen von Handlungen konkret mit welchen Reizdimensionen verknüpft sind, ist eine empirische Frage. Die Untersuchungen von Schubotz & von Cramon und Fagioli et al. verweisen jedoch bereits auf Zusammenhänge zwischen Greifhandlungen und Form, Zeigehandlungen und Position und zwischen rhythmischen Aktivitäten und der zeitlichen Struktur von Reizereignissen.

4. Online- und Offline-Kontrolle bei der Reaktionsausführung

In einer Untersuchung von Prablanc und Pélisson (1990) hatten Versuchspersonen die Aufgabe, manuelle Zielbewegungen auszuführen. In jedem

Durchgang wurde das räumliche Ziel visuell markiert und die Probanden bewegten ihren Zeigefinger so schnell wie möglich zu dem Zielpunkt. In einigen Durchgängen wurde zu Beginn der Bewegung der Zielpunkt leicht verändert. Dies geschah während die Versuchspersonen blinzelten oder ihre Augen bewegten, sodass sie die Verschiebungen nicht bewusst wahrnahmen. Dennoch bewegte sich ihre Hand stets ohne jede Verzögerung zu dem neuen Zielpunkt: die Hand war dem Bewusstsein in diesem Fall also überlegen. Diese und andere Beobachtungen nahmen Milner und Goodale (1995) zum Anlass, ein Modell vorzuschlagen, das zwei Routen der visuell-manuellen Verarbeitung unterscheidet. Die erste Route dient der mehr oder weniger direkten und nicht bewusstseinsfähigen Übersetzung visueller Informationen in Bewegungsmuster. Diese so genannte dorsale bzw. *Handlungsrout*e hat keinen Zugang zum Langzeitgedächtnis und wird nicht kognitiv beeinflusst. Die zweite Route dient der kognitiven Verarbeitung, sie hat Zugang zum Langzeitgedächtnis und mündet (zumindest häufig) in bewusster Wahrnehmung - dies ist die ventrale bzw. *Wahrnehmungsrout*e. Jüngere Untersuchungen legen eine weniger strikte Trennung der zwei Routen nahe als von Milner und Goodale vorgesehen (Rossetti & Pisella, 2002) und die terminologische Unterscheidung zwischen einer Wahrnehmungs- und einer Handlungsrout e scheint nicht besonders glücklich (Hommel et al., 2001b), aber die Grundstruktur des Zwei-Wege-Modells hat sich bewährt. Tatsächlich passt dieses Modell sehr gut zu der hier vorgeschlagenen Unterscheidung von Online- und Offline-Kontrolle. Die ventrale Rout e hat alle Eigenschaften, die für die vorbereitende Offline-Kontrolle erforderlich sind: sie braucht kognitive Einflüsse, um auf das Handlungsziel abgestimmt zu sein, und sie benötigt den Zugang zum Langzeitgedächtnis, um Wissen über die zu erwartenden Handlungseffekte für die Vorbereitung der Reaktionsauswahl heranzuziehen. Dies alles braucht die dorsale Rout e nicht, insofern sie lediglich die für die Online-Kontrolle erforderliche, aktuelle Umgebungsinformation einspeist. Auch die bewusste Repräsentation dorsaler Information wäre nicht besonders interessant—was zählt ist schließlich das Handlungsziel und die Frage, *ob* es erreicht wird, *wie* es konkret erreicht wird spielt hingegen für den Handlungserfolg keine Rolle.

5. Warum vollzieht sich Offline-Kontrolle off-line?

Angesichts der vielfältigen Belege dafür, dass sich der größte Teil von Kontrollprozessen lange vor der eigentlichen Handlung abspielt, stellt sich die Frage, warum das so ist. Warum entscheiden wir nicht auf der Basis der momentanen situativen Bedingungen, was zu tun ist? Zum einen wäre das sicher keine besonders effektive Strategie: Je mehr kognitive Arbeit bereits vor Auftreten eines Signalereignisses erledigt ist, desto schneller kann man reagieren. Zum anderen sind bewusste Prozesse (oder besser: Prozesse, die zu bewusstseinsfähigen Zuständen führen) so langsam und kapazitätsraubend, dass sie die Reaktionszeiten auf ein unakzeptables Niveau heben würden - falls sie wirklich in dem von Donders angenommenen Zeitintervall zwischen Reiz- und Reaktionsverarbeitung stattfinden würden.

Der große Zeitbedarf bewusstseinsbezogener Prozesse war schon Münsterberg (1889) aufgefallen: Selbst bei noch ungeübten Reaktionen auf Reize scheinen die Reaktionen noch vor Abschluss der Reizwahrnehmung zu beginnen; eine Beobachtung, die Münsterberg an der Rolle des Bewusstseins bei der Reiz-Reaktionsübersetzung zweifeln ließ. Jüngere Befunde unterstützen diesen Zweifel. Ward, Duncan und Shapiro (1996) berichten z.B. Evidenz, dass die bewusste Wahrnehmung eines einzelnen visuellen Reizes (nicht zu verwechseln mit dessen Darbietungsdauer, die sehr wohl kürzer sein kann!) nicht weniger als eine halbe Sekunde dauern könnte. Angesichts der Tatsache, dass viele Studien mittlere Reaktionszeiten in diesem Bereich für die *Ausführung* von Wahlreaktionen berichten, ist es nicht abwegig zu vermuten, dass viele Reaktionen nicht auf die Bewusstwerdung des sie verursachenden Reizereignisses warten.

Warum bewusstseinsbezogene Prozesse so träge sind, hängt wahrscheinlich mit ihrer Funktion zusammen. Baars (1988) hat vorgeschlagen, dass bewusste Zustände globale Operationen widerspiegeln. Lokale Operationen finden demnach in einer Vielzahl von Modulen im kognitiven System statt, ohne dass die internen Zwischenergebnisse dem Bewusstsein zugänglich wären. Um bewusstseinsfähig zu werden, müssen die jeweiligen Endergebnisse in einem weiteren Verarbeitungsschritt miteinander in Beziehung gesetzt und integriert werden. Es liegt auf der Hand, dass eine solche globale Operation erhebliche Zeit in Anspruch nimmt. Um zu eindeutigen Ergebnissen zu gelangen, muss sie aber darüber hinaus auch exklusiv sein, d.h. andere, simultan ablaufende, aber nicht zum integrierten

Ereignis gehörige Prozesse vorübergehend stoppen - anderenfalls würden die Ergebnisse dieser Prozesse ja auch in die globale Operation einbezogen und integriert werden.

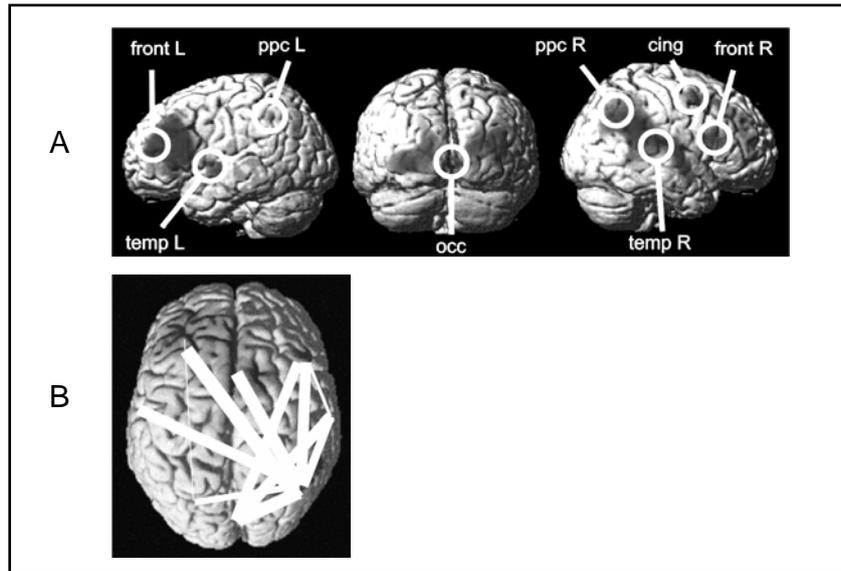


Abb. 4: Ergebnisse aus der magnetoencephalographischen Studie von Gross et al. (2004) zum Attentional Blink. Abb. 4A zeigt acht kortikale Quellen (einer Versuchsperson), die alle an der Verarbeitung von Zielreizen beteiligt waren. Abb. 4B zeigt die Stärke der Kommunikation (dickere Linien stehen für stärker ausgeprägte Kommunikation) zwischen den betreffenden Quellen während der Reizverarbeitung.

Ein Beispiel wie so etwas konkret aussehen könnte, ist der Analyse des so genannten Attentional Blinks (AB) von Gross et al. (2004) zu entnehmen. Der Begriff des AB bezieht sich auf die Beobachtung, dass Probanden bei der Identifikation von zwei Zielreizen in einem visuellen Reizstrom den jeweils zweiten Reiz häufig übersehen, wenn er dem ersten Reiz innerhalb einer halben Sekunde folgt (z.B. Raymond, Shapiro & Arnell, 1992). Abb. 4A zeigt nicht weniger als acht kortikale Quellen, die bei einer einzelnen Versuchsperson an der Verarbeitung von Zielreizen beteiligt sind. Während dieser Verarbeitung interagieren alle acht Quellen miteinander, wie in Abb. 4B zu sehen. Die Interaktionen nehmen signifikant zu, sobald ein Zielreiz

erscheint, aber nur dann wenn er später auch korrekt wiedergegeben werden kann. Mit anderen Worten, die Kommunikation zwischen all diesen Gehirnarealen scheint eng mit dem bewussten Erleben des relevanten Reizereignisses verbunden.

Es leuchtet ein, dass der Aufbau solch einer komplexen Kommunikationsstruktur kompliziert und anfällig für Störung ist. Die Kommunikation beruht auf der Synchronisation der zeitlichen Aktivierungsmuster der betroffenen Zellverbände, setzt also voraus, dass diese Aktivierungsmuster wechselseitig abgestimmt und angepasst worden sind. Während dieses zeitaufwändigen Prozesses sind die beteiligten Verarbeitungssysteme für andere Arten der Kommunikation nicht zugänglich, stehen also für die Erledigung anderer kognitiver Arbeit nicht zur Verfügung. Dies erzeugt einen Kapazitätsengpass, der im Falle des AB eine funktionale Blindheit des Systems gegenüber weiterer Zielreizen bedeutet - tatsächlich zeigt die Analyse der globalen Kommunikation über die Zeit, wie sich das kognitive System während der Verarbeitung eines Reizes regelrecht abschirmt gegenüber neu eintreffender Information (Gross et al., 2004). Wenn diese Beobachtungen einen realistischen Eindruck des Zeit- und Kapazitätsbedarfs bewusster Prozesse vermitteln, dann ist leicht zu verstehen, wieso sich ein schnell handelndes System nicht von dem Abschluss solcher Prozesse abhängig machen will.

Wenn wir also abschließend fragen, ob wir als Handelnde wissen, was wir tun, dann ist die Antwort positiv: ja, wir wissen sehr wohl *was* wir tun, aber wir wissen nur sehr wenig darüber, *wie* wir es tun. Unser Bewusstsein richtet sich auf die wesentlichen Ziele unserer Handlungen, d.h. auf die anzustrebenden Handlungseffekte (Hommel, 1997), deren Bestimmung in der Regel hinreichend ist, um den Handlungserfolg zu garantieren. Wie die jeweilige Handlung konkret ausgeführt wird, welche Parameter durch Umgebungsinformation spezifiziert werden müssen (Neumann, 1989; Neumann, Ansorge & Klotz, 1998), und wie diese Spezifizierung ausfällt, ist nicht Gegenstand der bewussten Betrachtung. Mit anderen Worten, bewusstseinsbezogene Prozesse sind vornehmlich auf die vorbereitende Offline-Kontrolle beschränkt und gegebenenfalls auf die nachbereitende Auswertung einer Handlung. Sie können die Online-Kontrolle natürlich auch begleiten, aber es gibt wenig Grund zu der Annahme, dass Bewusstsein eine aktive, steuernde Rolle bei dieser Form der Kontrolle spielt. Die Funktion des

Bewusstseins, oder zumindest derjenigen Prozesse, die das bewusste Erleben begleiten, besteht also vornehmlich darin, das kognitive System in eine Reflexmaschine zu transformieren: je gedankenloser desto schneller.

6. Literaturverzeichnis

- Baars, B. J. (1988). *A cognitive theory of consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- De Jong, R., Liang, C. C., & Lauber, E. (1994). Conditional and unconditional automaticity: A dual process model of effects of spatial stimulus response correspondence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 731-750.
- Donders, F. C. (1868). *Over de snelheid van psychische processen*. Onderzoekingen, gedan in het physiologisch laboratorium der Utrechtsche hoogeschool, 2. reeks, 2, 92-120.
- Eenshuistra, R. M., Weidema, M. A., & Hommel, B. (2004). Development of the acquisition and control of action-effect associations. *Acta Psychologica*, *115*, 185-209.
- Eimer, M. (1997). The Lateralized Readiness Potential as an on-line measure of automatic response activation in S-R compatibility situations. In B. Hommel & W. Prinz (Eds.). *Theoretical issues in stimulus-response compatibility* (pp. 51-73). Amsterdam: North-Holland.
- Eimer, M. & Schlaghecken, F. (1998). Effects of masked stimuli on motor activation: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1737-1747.
- Elsner, B. & Hommel, B. (2001). Effect anticipation and action control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 229-240.
- Elsner, B., Hommel, B., Mentschel, C., Drzezga, A., Prinz, W., Conrad, B., & Siebner, H. (2002). Linking actions and their perceivable consequences in the human brain. *NeuroImage*, *17*, 364-372.
- Exner, S. (1879). Physiologie der Grosshirnrinde. In L. Hermann (Ed.), *Handbuch der Physiologie*, 2. Band, 2. Theil (pp. 189-350). Leipzig: Vogel.
- Fagioli, S., Hommel, B., & Schubotz, R. I. (im Druck). Intentional control of attention: Action planning primes action-related stimulus dimensions. *Psychological Research*.
- Gross, J., Schmitz, F., Schnitzler, I., Kessler, K., Shapiro, K., Hommel, B., & Schnitzler, A. (2004). Long-range neural synchrony predicts temporal limitations of visual attention in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *101*, 13050-13055.

- Hommel, B. (1993a). Inverting the Simon effect by intention: Determinants of direction and extent of effects of irrelevant spatial information. *Psychological Research*, *55*, 270-279.
- Hommel, B. (1993b). The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research*, *55*, 280-290.
- Hommel, B. (1997). Toward an action-concept model of stimulus-response compatibility. In B. Hommel & W. Prinz (Eds.), *Theoretical issues in stimulus-response compatibility* (pp. 281-320). Amsterdam: North-Holland.
- Hommel, B. (2000). The prepared reflex: Automaticity and control in stimulus-response translation. In S. Monsell & J. Driver (eds.), *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (pp. 247-273). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001a). The theory of event coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*, 849-878.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001b). Codes and their vicissitudes. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*, 910-937.
- Hommel, B. (2003). Planning and representing intentional action. *TheScientificWorldJOURNAL*, *3*, 593-608.
- Hommel, B. (2004). Coloring an action: Intending to produce color events eliminates the Stroop effect. *Psychological Research*, *68*, 74-90.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Dover Publications.
- Koch, I. & Kunde, W. (2002). Verbal response-effect compatibility. *Memory & Cognition*, *30*, 1297-1303.
- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus response compatibility—a model and taxonomy. *Psychological Review*, *97*, 253-270.
- Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 387-394.
- Kunde, W., Hoffmann, J. & Zellmann, P. (2002). The impact of anticipated action effects on action planning. *Acta Psychologica*, *109*, 137-155.
- Kunde, W., Koch, I., & Hoffmann, J. (2004). Anticipated action effects affect the selection, initiation and execution of actions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *57A*, 87-106.
- Lotze, R. H. (1852). *Medicinische Psychologie oder die Physiologie der Seele*. Leipzig: Weidmann'sche Buchhandlung.
- Lu, C.-H. & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, *2*, 174-207.

- Milner, A. D. & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford: Oxford University Press.
- Münsterberg, H. (1889). *Beiträge zur experimentellen Psychologie*, Heft 1. Freiburg: Mohr.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Neumann, O. (1989). Kognitive Vermittlung und direkte Parameterspezifikation. Zum Problem mentaler Repräsentation in der Wahrnehmung. *Sprache & Kognition*, 8, 32-49.
- Neumann, O., Ansorge, U., & Klotz, W. (1998). Funktionsdifferenzierung im visuellen Kortex: Grundlage für motorische Aktivierung durch nicht bewusst wahrgenommene Reize? *Psychologische Rundschau*, 49, 185-196.
- Neumann, O. & Prinz, W. (1987). Kognitive Antezedenzen von Willkürhandlungen. In H. Heckhausen, P. M. Gollwitzer, & F. E. Weinert (Eds.), *Jenseits des Rubikon: Der Wille in den Humanwissenschaften* (pp. 195-215). Berlin: Springer.
- Prablanc, C. & Pélisson, D. (1990). Gaze saccade orienting and hand pointing are locked to their goal by quick internal loops. In M. Jeannerod (Ed.), *Attention and Performance XIII* (pp. 653-676). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 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 and Performance*, 18, 849-860.
- Rochat, P. & Striano, T. (1999). Emerging self-exploration by 2-month-old infants. *Developmental Science*, 2, 206-218.
- Rossetti Y. & Pisella L. (2002). Several 'vision for action' systems: A guide to dissociating and integrating dorsal and ventral functions. In: W. Prinz & B. Hommel (eds), *Attention and Performance XIX: Common mechanisms in perception and action* (pp. 62-119). Oxford: Oxford University Press.
- Schubotz, R.I. & von Cramon, D.Y. (2003). Functional-anatomical concepts on human pre-motor cortex: Evidence from fMRI and PET studies. *NeuroImage*, 20 (Suppl. 1), 120-131.
- Simon, J. R. & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51, 300-304.
- Sommer, W., Leuthold, H., & Hermanutz, M. (1993). Covert effects of alcohol revealed by event-related potentials. *Perception & Psychophysics*, 54, 127-135.
- Stephan, K. M., Fink, G. R., Passingham, R. E., Silbersweig, D., Ceballos-Baumann, A. O., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. (1995). Functional

- anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology*, *73*, 373-386.
- Tyszka, J. M., Grafton, S. T., Chew, W., Woods, R. P., & Colletti, P. M. (1994). Parceling of mesial frontal motor areas during ideation and movement using functional magnetic resonance imaging at 1.5 tesla. *Annual Review of Neurology*, *35*, 746-749.
- Valle-Inclán, F. & Redondo, M. (1998). On the automaticity of ipsilateral response activation in the Simon effect. *Psychophysiology*, *35*, 366-371.
- Ward, R., Duncan, J., & Shapiro, K. (1996). The slow time-course of visual attention. *Cognitive Psychology*, *30*, 79-109.