

# Planung und exekutive Kontrolle von Handlungen

*Bernhard Hommel*

- 18.1 Einleitung – 664**
- 18.2 Planung einfacher Handlungen – 664**
  - 18.2.1 Motorische Programme – 664
  - 18.2.2 Programme und Parameter – 666
  - 18.2.3 Nutzung von Vorinformationen über Handlungsmerkmale – 666
  - 18.2.4 Programmierung von Handlungsmerkmalen – 667
  - 18.2.5 Reprogrammierung von Handlungsmerkmalen – 667
  - 18.2.6 Integration von Handlungsmerkmalen – 668
  - 18.2.7 Programmierung und Spezifikation von Handlungen – 669
  - 18.2.8 Programmierung und Initiierung von Handlungen – 672
  - 18.2.9 Programme, Pläne und Ziele – 673
- 18.3 Planung von Handlungssequenzen – 674**
  - 18.3.1 Programmierung von Handlungssequenzen – 674
  - 18.3.2 Sequenzierung von Handlungselementen – 677
  - 18.3.3 Planung langer und geübter Handlungssequenzen – 680
- 18.4 Planung und Koordination multipler Handlungen – 682**
  - 18.4.1 Untersuchungsmethoden – 683
  - 18.4.2 Aufgabenkoordination – 684
  - 18.4.3 Reizverarbeitung und Gedächtnis – 684
  - 18.4.4 Reiz-Reaktions-Übersetzung und Reaktionsauswahl – 686
  - 18.4.5 Reaktionsinitiierung – 687
- 18.5 Wechseln zwischen Handlungen – 688**
  - 18.5.1 Untersuchungsmethoden – 689
  - 18.5.2 Aufgabenvorbereitung – 690
  - 18.5.3 Proaktive Effekte – 692
  - 18.5.4 Residuale Wechselkosten – 693
  - 18.5.5 Implementierung und Aktualisierung von Aufgabensets – 694
- 18.6 Anwendungsbeispiele – 695**
- 18.7 Ausblick – 696**
- 18.8 Weiterführende Informationen – 698**
  - Literatur – 700**

### Handlungsplanung bei Schädigungen des frontalen Cortex

Die wesentlichen Funktionen kognitiver Fähigkeiten lassen sich nicht selten erst dann richtig verstehen, wenn sie aus irgendwelchen Gründen abhanden gekommen sind – sei es durch mangelnde Übung, natürliches Altern, Krankheiten oder Unfälle. Für das Verständnis der Planung und Kontrolle von Handlungen ist unter diesem Gesichtspunkt vor allem das Studium von Patienten mit Schädigungen des frontalen Cortex interessant. Wenn die Schädigung primär motorische Areale verschont hat, sind gewöhnliche Routinetätigkeiten nicht notwendigerweise spür- oder sichtbar behindert. Dennoch wird das Verhalten oft seltsam inflexibel und umweltabhängig: Die Patienten haben z. B. Schwierigkeiten, Handlungen zu planen, Handlungsziele zu erinnern und aufrechtzuerhalten sowie zwischen verschiedenen Handlungen zu wechseln (Überblick z. B. bei

Burgess 2000). In gewisser Weise scheint sich die Kontrolle von Handlungen in die Umwelt zu verlagern, sodass die bloße Konfrontation mit Objekten zur Ausführung entsprechender Handlungen verleitet: Manche Patienten rauchen, wenn sie auf Zigaretten stoßen; trinken, wenn sie ein Getränk sehen; und ergreifen und manipulieren Gegenstände ohne erkennbares Ziel (Lhermitte 1983). Handlungen richten sich also nicht mehr in die Zukunft, sie dienen nicht mehr künftigen, intendierten und aktiv angestrebten Ereignissen, sondern sie stellen nur noch Reaktionen auf externe Ereignisse dar.

Erst wenn wir uns vorstellen, wie es ist, in der Welt eines Frontalpatienten zu leben – reaktiv, in der Gegenwart verwurzelt, und ohne die Fähigkeit, aktiv Veränderungen der eigenen und umgebenden Bedingungen herbeizuführen –, können wir ermaßen, welche

Rolle Funktionen der Handlungsplanung und -kontrolle für unser tägliches Leben spielen. Sich mit Handlungsplanung zu beschäftigen, bedeutet also zu fragen, auf welche Weise wir Zustände intentional verändern können. Intendierte Veränderungen liegen zunächst notwendigerweise in der Zukunft, sodass Handlungsplanung immer in gewisser Weise projektiv ist: Künftige Zustände müssen antizipiert, vorhergesagt werden, um die zu ihrer Realisierung erforderlichen körperlichen Mittel bestimmen und möglichst optimal einsetzen zu können. Handlungsplanung basiert also auf praktikablen Visionen, auch wenn diese sich im Alltag oft nur auf die nächste Körperbewegung beziehen. Wie sie erworben und eingesetzt werden, ist das Thema dieses Kapitels.

## 18.1 Einleitung

In erster Annäherung lässt sich menschliches Handeln als das Ausführen zielgerichteter Bewegungen definieren – eine Definition, die weitgehend unserem Alltagsverständnis des Handlungsbegriffs entspricht. Bereits Ach (1910) hat darauf hingewiesen, dass sich die Arbeitsweise unseres kognitiven Systems durch die Entwicklung und Auswahl eines Zieles (► Kap. 8) grundlegend verändert. Einerseits betreffen diese Veränderungen die Verarbeitung von Umweltinformation: Zielrelevante Ereignisse werden bevorzugt verarbeitet (► Kap. 5) und erinnert (► Kap. 9), unter Umständen auch in besonderer Weise erlebt (► Kap. 6). Andererseits werden Handlungspläne generiert und handlungsbereitschaften ausgebildet, sodass im Fall günstiger situativer und personbezogener Bedingungen angemessen gehandelt und reagiert werden kann. Und um diese handlungsbezogenen Vorbereitungs- und Kontrollprozesse soll es in diesem Kapitel gehen.

Wie aufwendig zielbezogene Handlungsvorbereitungen sind, hängt vom Abstraktionsgrad und der Komplexität des gesetzten Zieles ab. Während das Ziel einer einfachen Zeigehandlung durch die Selektion eines Zielortes und einer bestimmten, relativ einfachen Bewegung realisiert werden kann, erfordern Ziele wie die Zubereitung einer Tasse Kaffee bereits die Verkettung und Sequenzierung bestimmter Teilhandlungen. Noch komplexere Ziele, wie etwa die Organisation einer Urlaubsreise, erfordern zudem die Hierarchisierung verschiedener Teilhandlungen, die ihrerseits aus längeren Bewegungssequenzen bestehen, usw. Offensichtlich sind umso mehr kognitive Prozesse erforderlich, je komplexer eine Zielsetzung ist. Daher lässt sich die Frage, wie eine Handlung geplant und gesteuert wird, nicht ohne Weiteres und vor allem nicht unabhängig von der Art des zugrunde liegenden Handlungszieles beantworten.

Die Grobgliederung dieses Kapitels reflektiert die Beziehung zwischen Zielkomplexität und Planungsproblemen durch eine Dreiteilung. In ► Abschn. 18.2 werden allgemeine Modelle der

Planung relativ einfacher Handlungen diskutiert, wie etwa das Zeigen auf einen Ort, das Drücken einer Taste oder das Bewegen eines Hebels. In ► Abschn. 18.3 geht es darum, wie einfache Handlungen zur Realisierung komplexerer Ziele geordnet und gekoppelt werden. ► Abschn. 18.4 widmet sich der Frage, ob bzw. wie mehrere Handlungen koordiniert und gleichzeitig ausgeführt werden können, und ► Abschn. 18.5 untersucht, wie man zwischen verschiedenen Handlungen hin und her wechseln kann. ► In ► Abschn. 18.6 finden sich einige Anwendungsbeispiele, und ► Abschn. 18.7 gibt einen kurzen Ausblick.

## 18.2 Planung einfacher Handlungen

### 18.2.1 Motorische Programme

In seinen Überlegungen zur Entstehung intentionaler Handlungen wies William James (1890) darauf hin, dass Handlungen sekundäre Phänomene sein müssen. Was er damit meint, hat er im folgenden Satz zusammengefasst: „if, in voluntary action properly so-called, the act must be foreseen, it follows that no creature not endowed with divinatory power can perform an act voluntarily for the first time“ (S. 487). Wenn also Handlungen aus zielgerichteten Bewegungen bestehen, dann muss man zunächst in Erfahrung gebracht haben, welches Ziel mithilfe welcher Bewegung realisiert werden kann, bevor man die Bewegung willentlich zur Zielerreichung einsetzen kann (► Zur Vertiefung 18.2). Intentional Handelnde müssen also eine der eigentlichen Handlung vorausgreifende „Idee“ darüber haben, was sie erreichen wollen. Technisch ausgedrückt müssen sie über handlungsleitende Repräsentationen verfügen, mit deren Hilfe sie Handlungsziele definieren und ihre eigene Motorik in ziieldienlicher Weise steuern können.

In einer einflussreichen Übersichtsarbeit hat Keele (1968, S. 387) derartige handlungsleitende Repräsentationen als **mo-**

**torische Programme** (► Kap. 20) bezeichnet, die er weiter charakterisiert „as a set of muscle commands that are structured before a movement sequence begins, and that allows the entire sequence to be carried out uninfluenced by peripheral feedback“. Dieser Vorschlag geht auf Beobachtungen und Überlegungen von Lashley (1951) zurück und stützt sich auf eine Reihe empirischer Untersuchungen. Für die Annahme motorischer Programme im Sinne Keeles sprechen vor allem drei Beobachtungen, die im Folgenden kurz dargestellt werden (vgl. auch Rosenbaum und Krist 1993).

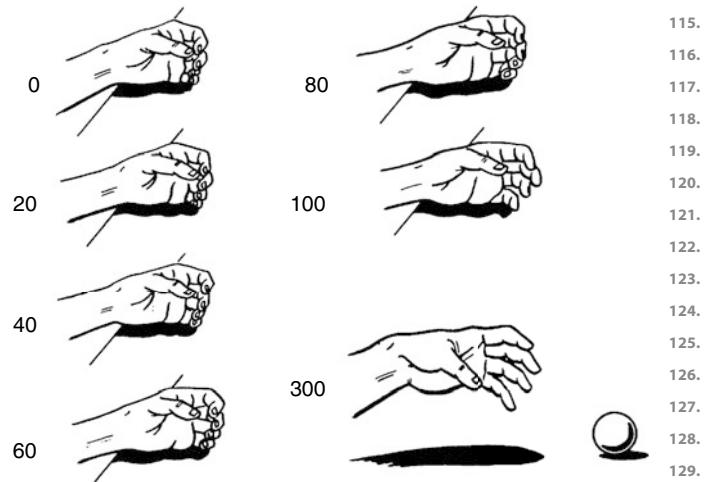
#### ■ Unabhängigkeit von Rückmeldung

Beobachtungen an menschlichen Patienten und operativ lädierten Tieren weisen darauf hin, dass Handlungen auch ohne kinästhetisches, visuelles oder anderes Feedback ausgeführt werden können. So berichtete bereits Lashley (1917) von einem Kriegsverletzten, der trotz völligen Verlusts entsprechender kinästhetischer **Rückmeldung** in der Lage war, sein Bein zielgerichtet und in verschiedenen Geschwindigkeiten zu bewegen, auch mit geschlossenen Augen. Die Kontrolle dieser Handlungen war also unabhängig von externer Information und musste daher von einer internen Kontrollstruktur ad hoc organisiert worden sein. Ähnliche Leistungen sind auch von anderen bei durch Unfälle oder Krankheiten deafferenzierten Patienten berichtet worden, wie etwa beim Malen von Figuren (Rothwell et al. 1982) oder beim zeitlichen Synchronisieren eigener Fingerbewegungen mit einer vorgegebenen Reizsequenz (Aschersleben et al. 2002; Bard et al. 1992). Auch operativ deafferenzierte Affen können ohne kinästhetische Rückmeldung und ohne visuelle Kontrolle greifen, laufen, springen und klettern (Taub und Berman 1968). Die Steuerung bereits erworbener Handlungen ist also auf sensorische Rückmeldung nicht unbedingt angewiesen, sondern kann auch auf der Basis interner Information operieren. Diese interne Information wird oft als Vorwärtsmodell (z. B. Mehta und Schaal 2002) und dessen Anwendung als Steuerung (im Gegensatz zur Regelung) bezeichnet (► Kap. 20). Allerdings leidet die Genauigkeit von Handlungen in der Regel unter der Abwesenheit sensorischen Feedbacks, und der Erwerb neuer Handlungen ohne Information über deren Ergebnis ist schwer vorstellbar.

#### ■ Antizipationseffekte

Im Verlauf einer Handlung zeigen sich nicht selten Anzeichen für die Antizipation des nächsten Handlungsschrittes – eine Beobachtung, auf die wir im Zusammenhang mit sequenziellen Handlungen noch einmal zurückkommen werden (s. auch ► Kap. 22). Ein alltägliches Beispiel für **Antizipationseffekte** stellt das zielgerichtete Greifen dar. Bereits vor dem Kontakt mit dem zu ergreifenden Gegenstand öffnet sich die Hand umso mehr, je größer der Gegenstand ist – auch wenn die Bewegung nicht visuell kontrolliert wird (Jeannerod 1981, 1994; ► Abb. 18.1). Die Hand antizipiert gewissermaßen den Gegenstand; der Verlauf des Kontakts mit dem Greifobjekt wird also bereits im Voraus und unter Einbeziehung von Wissen und Erwartungen bezüglich der Objektgröße geplant.

Ein weiteres Beispiel für Antizipation in der Handlungsplanung zeigt sich in den sogenannten **Koartikulationseffekten** beim Sprechen. Wenn wir z. B. das Phonem /t/ innerhalb eines



► **Abb. 18.1** Beispiel für die Antizipation der Größe eines zu ergreifenden Objekts. Die nach Videoaufnahmen gezeichneten Bilder zeigen verschiedene Bewegungsphasen von der ersten messbaren Bewegung an (0 ms) bis zur Annäherung an das Objekt nach 300 ms. Es fällt auf, dass sich Daumen und Finger bereits auf die Objektform einzustellen beginnen, noch bevor die Hand ihre Startposition verlässt. (Aus Jeannerod und Biguer 1982)

Wortes aussprechen, dann weist die Rundung unserer Lippen bereits vor Beginn der Lautäußerung auf das folgende Phonem hin, wie ein Vergleich der Folgen /t/ + /ʌ/ („ta“), /t/ + /i/ („ti“) und /t/ + /u/ („tu“) deutlich macht. Das Lautbild eines Phonems wird also vom nachfolgenden Phonem beeinflusst, was die zeitliche Überlappung der Planung der betreffenden Phoneme voraussetzt.

Auch die Analyse von Handlungsfehlern hat Hinweise auf Planungsprozesse ergeben (Übersichten bei Baars 1988; Norman 1981). Ein Beispiel dafür sind die nach William Archibald Spooner benannten Spoonerismen, Lautvertauschungen wie der überlieferte Ausdruck „The queer old dean“ (anstelle von „The dear old queen“). Derartige Fehler können durch bestimmte Bahnungstechniken auch im Labor systematisch induziert werden (Baars 1980) und sind intensiv untersucht worden (z. B. Baars 1988). Sehr ähnliche Fehler treten auch beim Maschineschreiben auf (Grudin 1983; Rumelhart und Norman 1982), wie etwa die häufig zu beobachtende „korrekte“ Verdoppelung des falschen Buchstabens (z. B. „Klaase“ statt „Klasse“). Derartige Fehler zeigen den Einfluss späterer auf frühere Handlungsschritte und legen deshalb nahe, dass zumindest einige Schritte einer Handlung im Voraus geplant werden (► Abschn. 18.3.1).

#### ■ Komplexitätseffekte

Wenn Handlungen durch antizipative Kontrollstrukturen gesteuert werden, dann sollte man erwarten, dass die Planung einer Handlung umso länger dauert, je umfangreicher und komplexer sie ist. Zwar werden wir in ► Abschn. 18.3.3 sehen, dass sich dies im Laufe der Übung ändern kann, aber bei ungeübten Handlungen lassen sich systematische Beziehungen zwischen Handlungskomplexität und Planungsdauer zuverlässig nachweisen. In ihrer klassischen Untersuchung zu diesem **Komplexitätseffekt** ließen Henry und Rogers (1960) Probanden Handlungen unterschiedlicher Länge und Anzahl von Teilschritten ausführen und maßen die Reaktionszeit von der Präsentation des Startsignals bis

zum Bewegungsbeginn. Wie sich herausstellte, war die Reaktionszeit umso länger, je mehr Teilschritte die Handlung enthielt, obwohl die Handlung bereits vor dem Startsignal bekannt war. Henry und Rogers erklärten diese Beobachtung damit, dass bei der Handlungsplanung Instruktionen bezüglich der einzelnen Handlungsschritte in einen motorischen Speicher transferiert werden, sodass die Planungsdauer mit der Anzahl transferierter Instruktionen ansteigt.

Diese Ergebnisse wurden in späteren, besser kontrollierten Untersuchungen vielfach bestätigt. Zum Beispiel fanden Sternberg et al. (1978; 1982; ■ Abb. 18.10) einen linearen Anstieg der Reaktionszeit mit der Anzahl auszusprechender Silben oder anzutipgender Tasten. Die von Sternberg und Mitarbeitern vorgeschlagene Erklärung ähnelt derjenigen von Henry und Rogers, fokussiert aber auf einen etwas anderen Prozess. So wird angenommen, dass die Reaktionszeiteffekte nicht den Transfer von Bewegungsinstruktionen zum motorischen Speicher widerspiegeln, sondern vielmehr die mit zunehmender Menge transferierter Elemente immer schwieriger werdende Suche nach einem bestimmten Element. Mit anderen Worten, nicht die Einspeicherung von Information könnte den Zeitbedarf erhöhen, sondern deren Entnahme und Nutzung.

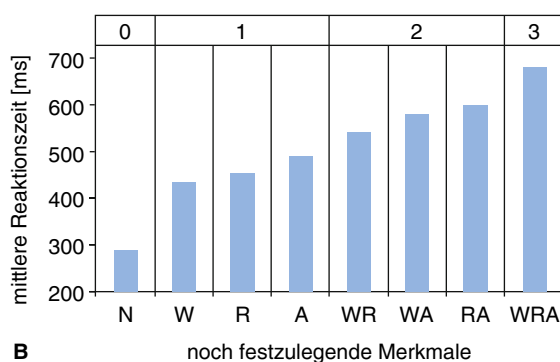
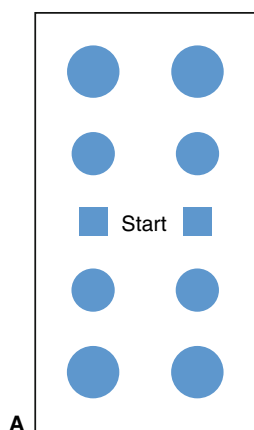
## 18.2.2 Programme und Parameter

Keeles (1968) ursprüngliche Definition motorischer Programme ging von einer muskelspezifischen Repräsentation von Bewegungsaspekten aus und damit von einer sehr inflexiblen Kontrollstruktur. Vor allem der Erwerb von Fertigkeiten wäre bei der Verwendung von Programmen dieser Art beinahe unmöglich, würde doch die kleinste Veränderung hinsichtlich auch nur eines Muskelparameters ein neues Programm erfordern. Aus u. a. diesem Grund hat Schmidt (1975) vorgeschlagen, zwischen relativ abstrakten Invarianten eines Programms einerseits und situationsangemessen bestimmbar **Parametern** andererseits zu unterscheiden. Fertigkeiten wären demnach in Form motorischer Schemata repräsentiert, die als feste Bestandteile (Invarianten) nur Information über relationale Beziehungen zwischen verschiedenen Handlungselementen enthalten, z. B. die relative Kraft oder die relative Dauer der verschiedenen Schritte eines Handlungstyps. Situationsbezogene Kennwerte von Handlungen

(Parameter), z. B. die absolut aufgewendete Kraft oder die Gesamtdauer, würden hingegen je nach Bedarf verändert, und die Handlung würde so an die momentanen Erfordernisse angepasst. Dementsprechend könnte z. B. das Schreiben des Buchstabens A durch ein und dasselbe **motorische Schema** gesteuert und dennoch dessen Größe verändert und das Schreibgerät oder der Effektor gewechselt werden. Der Ansatz von Schmidt (1975) impliziert, dass Handlungspläne in Form von Codes von Bewegungsmerkmalen repräsentiert werden, die je nach Übungsgrad invariant und langfristig gespeichert oder variabel und flexibel codierbar sein können. Die Annahme einer merkmalsbasierten Codierung von Handlungsplänen wird auch durch neurophysiologische Befunde unterstützt. So zeigen Einzelzellableitungen an Affen, dass während der Vorbereitung auf eine Handlung bestimmte neuronale Aktivitätsänderungen einzelne Bewegungsmerkmale codieren, z. B. die Richtung (Georgopoulos 1990) der geplanten Handlung oder die aufzuwendende Kraft (Kalaska und Hyde 1985). Auch bei Menschen lassen sich mithilfe von elektro- und magnetoencephalografischen Techniken merkmalskorrelierte neuronale Aktivitäten während der Handlungsplanung nachweisen. Vor Handlungsbeginn tritt z. B. das sogenannte lateralisierte Bereitschaftspotenzial auf (Deecke et al. 1976), dessen Amplitude systematisch mit der verwendeten Hand (Osman et al. 1992), der Dauer (Vidal et al. 1991) und der Kraft der geplanten Bewegung variiert (Kutas und Donchin 1980).

## 18.2.3 Nutzung von Vorinformationen über Handlungsmerkmale

Um Aufschluss über die Art und Weise der Parametrisierung von Programmen zu gewinnen, bat Rosenbaum (1980) Versuchspersonen, Zeigebewegungen von zentral angeordneten Starttasten zu räumlich angeordneten Zielen auszuführen (■ Abb. 18.2). Vor dem eigentlichen Signalreiz, der die erforderliche Reaktion anzeigte, wurde jeweils ein Vorbereitungssignal (*movement precue*) präsentiert (vgl. auch Leonard 1958). Dieses Vorbereitungssignal enthielt Informationen über keine, eines oder mehrere Merkmale der auszuführenden Bewegung, z. B. über deren Seite (linker oder rechter Arm), Richtung (zum Körper hin oder von ihm weg) und/oder Weite (kurz oder lang).



■ **Abb. 18.2** Versuchsaufbau (A) und Reaktionszeiten (B) aus einem Experiment von Rosenbaum (1980) zur Wirkung von Vorinformation über Bewegungsdimensionen. Die Ergebnisse zeigen umso schnellere Reaktionen, je weniger Dimensionen noch unbekannt, d. h. noch festzulegen sind. N = keine, W = Weite, R = Richtung, A = Amplitude. (Modifiziert nach Rosenbaum und Krist 1993)



Je mehr Merkmale durch das Vorbereitungssignal angezeigt wurden, desto kürzer war die Reaktionszeit. Interessanterweise ergaben sich keine systematischen Hinweise auf Abhängigkeiten zwischen den vorbereiteten Dimensionen, d. h., Information über jede Dimension förderte die Vorbereitung, unabhängig davon, ob andere bzw. welche anderen Dimensionen vorab bekannt waren (▣ Abb. 18.2). Diese Beobachtung zeigt, dass die Bewegungsdimensionen nicht in einer bestimmten Reihenfolge programmiert werden müssen.

Auch wenn positive Effekte von **Vorinformation** über Handlungsaspekte darauf hinweisen, dass motorische Programme möglicherweise keine monolithischen Einheiten darstellen, sondern aus Planungselementen zusammengesetzt sind, so sind sie doch nicht ganz eindeutig zu interpretieren. Denn Vorinformation über die zu erwartenden Handlungsaspekte informiert immer auch über den zu erwartenden Reiz und die zu erwartende Reiz-Reaktions-Paarung. Wenn z. B. je zwei verschiedene Parameter für die Seite, Richtung und Weite einer Bewegung eingesetzt werden können, so entspricht dies einer Menge von acht möglichen Reaktionen, die durch Vorinformation über eine Dimension auf vier, über zwei Dimensionen auf zwei und über drei Dimensionen auf eine mögliche Alternative reduziert wird. Da die Reaktionszeit bekanntermaßen mit der Anzahl der Reaktionsalternativen systematisch zunimmt (Hick 1952; Hyman 1953), könnten positive Effekte von Vorinformationen also auch darauf zurückzuführen sein, dass sie die Unsicherheit der betreffenden Versuchsperson über den Reaktionsreiz und/oder die möglichen Handlungsalternativen reduzieren (Goodman und Kelso 1980; Proctor und Reeve 1986; Zelaznik 1978). Zur Lösung dieses Problems sind zwei Variationen von Rosenbaums Technik vorgeschlagen und erfolgreich angewandt worden, deren wesentlicher Unterschied in der Validität der gegebenen Vorinformation besteht (► Abschn. 18.2.4 und 18.2.5).

### 18.2.4 Programmierung von Handlungsmerkmalen

Eine Variante verwendet Handlungsvorinformation in einer Weise, dass stets eine bestimmte Anzahl von Reiz-Reaktions-Alternativen übrig bleibt, die sich jedoch hinsichtlich der erforderlichen Handlungsaspekte verschieden stark unterscheiden. In der Studie von Zelaznik und Hahn (1985) waren z. B. acht alternative Reaktionen möglich, die sich durch die Kombination von Bewegungsdauer, Hand und Finger ergaben: ein kurzer oder langer Tastendruck mit dem Daumen oder Zeigefinger der linken oder rechten Hand. Vor dem eigentlichen Handlungssignal erhielten die Probanden Vorinformation darüber, welche zwei Reaktionsalternativen in dem betreffenden Durchgang möglich waren. Die Beziehung zwischen den verbleibenden Alternativen bestimmte darüber, ob eine bzw. welche Handlungsdimension vorbereitet werden konnte: So erlaubte die Kombination links/Zeigefinger/kurz und links/Zeigefinger/lang die Vorbereitung der linken Hand und des Zeigefingers, nicht aber der Dauer, während die Kombination links/Zeigefinger/kurz und rechts/Daumen/lang die Vorbereitung keines der Handlungsparameter gestattete. Unter diesen

Bedingungen fanden sich nur sehr geringe oder gar keine Effekte der Anzahl der bereits bekannten Handlungsparameter. Dies legt nahe, dass man bei einer überschaubaren Zahl von verbleibenden Alternativen mehr als eine Reaktion zugleich vorbereiten kann (Heuer 1986).

Insgesamt sind die Ergebnisse aus Studien zur validen Vorinformation noch recht unsystematisch und haben bislang noch nicht zu einem einheitlichen Programmierungsmodell geführt. Wir können festhalten, dass Vorinformation über die Eigenschaften einer Handlung deren Vorbereitung erleichtert und dass die Reihenfolge, in der diese Vorinformationen angeboten werden, keine Rolle spielt.

### 18.2.5 Reprogrammierung von Handlungsmerkmalen

Eine weitere Variante von Rosenbaums (1980) Technik der Handlungsvorinformation ist die von Rosenbaum und Kornblum (1982) entwickelte Methode der motorischen Bahnung (*priming*). Lépine et al. (1989) haben diese Methode mit der ursprünglichen Aufgabe von Rosenbaum (1980) kombiniert. Wieder wurde eine Bewegung mit der linken oder rechten Hand in verschiedene Richtungen und mit verschiedenen Weiten ausgeführt. Auch hier erschien vor dem Reaktionsreiz ein Hinweisreiz, der sich auf keine, eine, zwei oder alle drei Handlungsdimensionen bezog. Der wesentliche Unterschied zu anderen Methoden bestand allerdings darin, dass dieser Hinweisreiz die tatsächliche Handlung nur mit einer gewissen, wenn auch hohen Wahrscheinlichkeit anzeigte (65%). Wie zu erwarten, verringerte ein valider Hinweis die Reaktionszeit; Probanden waren also schneller, wenn der Hinweisreiz die betreffende(n) Dimension(en) der tatsächlich auszuführenden Handlung korrekt vorhersagte. Interessanter waren jedoch die Bedingungen mit invaliden Hinweisreizen; hier waren die Reaktionszeiten umso länger, je mehr Dimensionen falsch angezeigt wurden. Dies legt nahe, dass die betreffenden Dimensionen reprogrammiert werden mussten, sodass das Ausmaß der Verzögerung den Aufwand der Programmierung der jeweiligen Dimension anzeigt. Dabei fiel auf, dass die Reprogrammierung der Bewegungsweite relativ wenig Aufwand zu erfordern schien.

Die unterschiedlichen Zeitbedarfe bei der Reprogrammierung verschiedener Handlungsaspekte könnten etwas mit Schmidts (1975) Differenzierung von Invarianten und Parametern motorischer Programme zu tun haben. Quinn und Sherwood (1983) ließen z. B. Probanden Hebelbewegungen von 400 ms Dauer ausführen. Bei oder kurz nach Bewegungsbeginn boten sie einen Reiz dar, der entweder eine Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit oder eine Umkehr der Bewegungsrichtung forderte. In beiden Fällen waren die Versuchspersonen in der Lage, ihre Bewegung entsprechend zu modifizieren, aber die Anpassung der Bewegungsrichtung erfolgte erheblich später als die der Geschwindigkeit. Die Autoren argumentieren, dass die Änderung der Richtung möglicherweise den Aufruf eines neuen Handlungsprogramms erfordert, während für die Modifikation der Geschwindigkeit die Veränderung eines Programmparameters ausreicht. Dies würde auch den Befund von Lépine et al.

(1989) erklären, dass die Reprogrammierung der Weite vergleichsweise wenig aufwendig zu sein scheint.

Bedauerlicherweise erlaubt auch die Unterscheidung von Programminvarianten und -parametern keine konsistente Einordnung der vorliegenden Befunde. Einerseits hat dies mit konzeptuellen Problemen zu tun: Während einige Autoren z. B. die Richtung einer Bewegung als Parameter auffassen (Roth 1988; Stelmach und Teulings 1983), nehmen andere Autoren, an, dass es sich dabei um eine Programminvariante handelt (Quinn und Sherwood 1983). Natürlich kann man nicht ausschließen, dass die Bewegungsrichtung bei manchen Bewegungsformen eine Invariante, bei anderen einen Parameter darstellt, aber solange darüber nicht a priori entschieden werden kann, sind Vorhersagen kaum möglich.

Zudem sieht sich die Unterscheidung von Programminvarianten und -parametern auch mit empirischen Problemen konfrontiert. Lee et al. (1987) fanden z. B., dass Vorinformation über die Art einer Handlung (Ergreifen eines Balles oder Drehen eines Potentiometers) und die Distanz des Zielobjekts gleich gut genutzt werden kann, obwohl doch Schmidts (1975) Konzeption zufolge die Art einer Handlung über das Handlungsprogramm, die Distanz lediglich über einen Parameterwert entscheiden sollte. Auch die Reprogrammierung des Handlungstyps nach invalidem Hinweisreiz war keineswegs aufwendiger als die der Bewegungsdistanz (Lee et al. 1987, Experiment 5).

Zusammengefasst zeigen die vorliegenden Befunde, dass Wissen über Handlungsmerkmale dazu verwendet werden kann, die entsprechenden Merkmale bereits vor Handlungsbeginn einzuplanen. Die Eigenschaften einer Handlung können getrennt und relativ unabhängig voneinander programmiert und reprogrammiert werden, auch wenn es unter bestimmten Bedingungen möglich ist, die Korrelationen zwischen Handlungseigenschaften zur Effektivierung der (Re-)Programmierung zu nutzen. Um welche Merkmale oder Merkmalsdimensionen es sich jeweils handelt, kann Auswirkungen auf den Programmierungs- und Reprogrammierungsaufwand haben, aber diese Auswirkungen scheinen gering und wenig systematisch zu sein.

### 18.2.6 Integration von Handlungsmerkmalen

Die bislang vorliegenden Befunde legen nahe, dass Handlungen nicht durch einheitliche, fixe Kontrollstrukturen gesteuert werden, sondern durch situativ erzeugte Koppelungen von Merkmalsrepräsentationen (Keele et al. 1990; Stoet und Hommel 1999; Wickens et al. 1994). Damit stellt sich zum einen die Frage, wie diese Merkmalsrepräsentationen eigentlich miteinander in Beziehung gesetzt werden, zumal deren neuronale Korrelate über weite Bereiche des Cortex verteilt sind (► Abschn. 18.2.2). Möglicherweise werden die zu demselben Handlungsplan gehörigen Merkmalscodes mit derselben neuronalen Signatur versehen (► Zur Vertiefung 18.1) und so in ihrem Verhalten koordiniert und in eine kohärente Struktur integriert. Tatsächlich finden sich auch in Verhaltensexperimenten Hinweise auf eine solche **Integration**.

Ein erster Hinweis ergibt sich aus der Studie von Meyer und Gordon (1985), die Prozesse der Sprachprogrammierung mithilfe der Methode der motorischen Bahnung untersuchten. Sie boten jeweils zwei Silben dar, die auf ein weiteres Signal hin in der Regel von links nach rechts zu lesen waren. In einigen Fällen forderte das Signal jedoch zur umgekehrten Lesefolge auf, was eine Verzögerung zur Folge hatte. Interessanterweise war dabei die Reaktionszeit jedoch besonders erhöht, wenn die beiden Silben phonologische Merkmale teilten, wie etwa die Stimmhaftigkeit des Endkonsonanten („up“ – „ut“ oder „ub“ – „ud“) oder der Ort der Stimmbildung beim Vokal („up“ – „ud“ oder „ut“ – „ud“). Über ähnliche Effekte berichten Yaniv et al. (1990) mit Bezug auf Silbenpaare, die denselben Vokal enthielten.

Eine mögliche Interpretation dieser Befunde besteht darin, dass Probanden zunächst die Aussprache der linken Silbe programmieren und dadurch andere, vor allem aber phonologisch ähnliche Silben inhibieren (Meyer und Gordon 1985). Davon wäre vor allem die rechte der beiden Silben betroffen und zwar umso mehr, je mehr phonologische Merkmale sie mit der linken Silbe teilt. Eine alternative Interpretation geht davon aus, dass die Programmierung nicht eine Hemmung anderer Silben, sondern die Integration der betreffenden phonologischen Merkmalscodes zum entsprechenden **Handlungsplan** zur Folge hat. Wenn daher bestimmte Codes bereits in den zur linken Silbe gehörigen Handlungsplan integriert sind, stehen sie nicht mehr ohne Weiteres zur Planung einer anderen Handlung (hier: die Aussprache der rechten Silbe) zur Verfügung (Stoet und Hommel 1999). Trotz der Unterschiede im Detail gehen also beide Hypothesen davon aus, dass die Integration einer Merkmalsrepräsentation in einen Handlungsplan negative Konsequenzen für die Planung merkmalsüberlappender Handlungen hat, dass also Handlungsplanung die betreffenden Merkmale temporär bindet.

Auch die Ergebnisse von Stoet und Hommel (1999) deuten auf Prozesse der **Merkmalsbindung** bei der Handlungsplanung hin. In dieser Studie führten Versuchspersonen jeweils zwei Reaktionen (R1 und R2) aus, die durch zwei verschiedene Reize (S1 und S2) signalisiert wurden, wobei S2 und R2 zwischen S1 und R1 auftraten (S1–S2–R2–R1). Die Merkmalsüberlappung zwischen R1 und R2 wurde durch die Seite der beteiligten Hände bzw. Füße variiert, die entweder gleich (Überlappung des räumlichen Merkmals links oder rechts) oder verschieden war (keine Merkmalsüberlappung). Wie erwartet führte Merkmalsüberlappung zur Verzögerung von R2, d. h., eine linkshändige R2 wurde z. B. später initiiert, wenn sie während bzw. nach der Planung einer links- statt rechtshändigen R1 ausgeführt werden sollte. Vergleichbare Interaktionen finden sich auch zwischen Plänen manueller und vokaler Handlungen (Fournier et al. 2010). Schließlich ließen Rosenbaum et al. (1986) Probanden die ersten zwei bis neun Buchstaben des Alphabets mit alternierender Betonung rezitieren und fanden bessere Leistungen, wenn die Anzahl der Buchstaben gerade war (z. B. AbCdAbCd ...), als wenn sie ungerade war (z. B. AbCaBc ...). Bei gerader Buchstabenanzahl bleibt die Zuordnung von Buchstabe bzw. Listenposition und Betonung stets konstant, während sie bei ungerader Anzahl stets variiert. Dies könnte dazu führen, dass bei ungeraden Anzahlen die Codes von Buchstaben bzw. Listenpositionen und der Beto-

nung stets rekombiniert und neu integriert werden müssen, was einen höheren Programmieraufwand zur Folge hat (► Abschn. 18.3.2).

Insgesamt sind die Befunde zur Integration von Programmelementen noch unzureichend. Erste Hinweise legen nahe, dass die Planung einer Handlung zur temporären Koppelung von Codes führt, die die Handlungsmerkmale repräsentieren und deren Realisierung steuern. Diese Einbindung von Merkmalscodes scheint deren Verfügbarkeit für die zeitlich überlappende Planung anderer Handlungen zu beeinträchtigen, sei es durch Hemmung ähnlicher Handlungen oder durch die vorübergehende Belegung der betreffenden Codes.

### Zur Vertiefung 18.1

#### Das Bindungsproblem

Die Gehirne von Menschen und anderen höheren Spezies basieren ganz wesentlich auf dem Prinzip der verteilten Codierung. In besonderem Maße gilt dies für die Verarbeitung visueller Information, im Zuge derer die verschiedenen Merkmale visueller Reize in verschiedenen corticalen Farb-, Form- und Bewegungskarten codiert werden (DeYoe und Van Essen 1988; Treisman 1996; ► Kap. 2). Aber auch die Merkmale geplanter Handlungen werden in verschiedenen, merkmalspezifischen corticalen Arealen repräsentiert (► Abschn. 18.2.2). Einerseits bietet eine modulare Repräsentation wahrnehmbarer und zu produzierender Ereignisse erhebliche evolutionäre Vorteile. Phylogenetisch erlaubt sie eine kontinuierliche Anpassung und den stetigen Ausbau des Gehirns, da einzelne Module eliminiert, hinzugefügt oder modifiziert werden können, ohne dass die gesamte Hirnstruktur vollständig umgebaut werden müsste. Ontogenetisch bedeutet sie ein hohes Maß an Toleranz gegenüber unfall- oder altersbedingten Schädigungen des Gehirns, da sich diese oft nur im Verlust von Teilfunktionen niederschlagen und nicht in einer Beeinträchtigung der gesamten corticalen Verarbeitung. Verteilte Repräsentationen bringen aber auch Probleme mit sich. Denn zur Planung und Kontrolle einer Handlung reicht es nicht mehr aus, die Codes von Merkmalen der geplanten Handlung zu bestimmen und zu aktivieren, sonst könnten zufällig aktivierte Elemente irrtümlich in die Planung einbezogen und zu verschiedenen Plänen gehörige Elemente nicht eindeutig voneinander separiert werden. Um trotz verteilter Repräsentationen kohärente Handlungspläne generieren zu können, ist daher irgendeine Art von Integration erforderlich, irgendeine Art von Bindung zusammengehöriger kognitiver bzw. corticaler Merkmalscodes (Singer 1994; 2011; Stoet und Hommel 1999). Wie könnte diese Bindung vor sich gehen?

Eine zunehmend diskutierte Idee zur Lösung des Bindungsproblems geht auf Überlegungen von Abeles (1991) und von der Malsburg (1981; 1995) zurück, die vermuten,

räumlich verteilte Verbände von Neuronen könnten durch die zeitliche Synchronisation ihrer Entladungsmuster miteinander kommunizieren und so eine zeitlich organisierte, funktionale Einheit bilden (Singer 2011). Diese Überlegung ist in ► Abb. 18.3 schematisch dargestellt. Nehmen wir an, eine Person plant die Ausführung einer Rückwärtsbewegung mit der linken und einer Vorwärtsbewegung mit der rechten Hand. Zunächst müssen die betreffenden Merkmalscodes (linke Hand, rückwärts, rechte Hand, vorwärts) aktiviert werden, sodass die zu diesen Codes beitragenden Neurone relativ häufig feuern (► Abb. 18.3A). Diese erhöhte Feuerrate allein ist jedoch kein hinreichendes Kriterium, um zu entscheiden, welche Merkmale zusammengehören, ob also z. B. die Vorwärtsbewegung von der linken oder der rechten Hand ausgeführt werden soll. Um die zusammengehörigen Merkmale zu binden, könnte die Aktivität der entsprechenden Neurone synchronisiert werden, wie in ► Abb. 18.3B skizziert.

Hinweise auf neuronale Synchronisation gibt es u. a. durch Einzelzellableitungen an Affen und Katzen (Überblick bei Engel et al. 1997; MacKay 1997). In Affen fanden z. B. Sanes und Donoghue (1993) vor der Initiierung von Finger- oder Handbewegung synchronisierte Aktivität von Neuronen an verschiedenen, zum Teil über 7 mm entfernten Orten des primärmotorischen und prämotorischen Cortex. Ebenfalls in Affen beobachteten Murthy und Fetz (1992; 1996) handlungskorrelierte Synchronisation zwischen motorischen und somatosensorischen Arealen über Distanzen von bis zu 20 mm hinweg. In Katzen fanden Roelfsema et al. (1997) sogar Synchronisation zwischen Neuronen des visuellen und des parietalen Cortex einerseits und Neuronen des parietalen und des motorischen Cortex andererseits.

Die Überlegung, derartige Befunde vom Tier auf den Menschen zu übertragen, hat sich vor allem aus einer Beobachtung hinsichtlich des zeitlichen Musters neuronaler Synchronisation ergeben. Die in Tierstudien berichteten zeitlichen Koppelungen verteilter

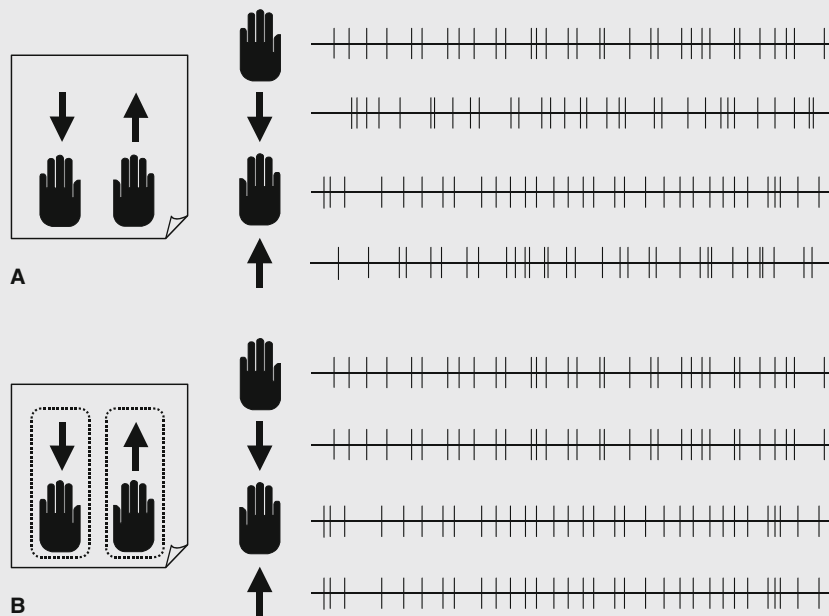
### 18.2.7 Programmierung und Spezifikation von Handlungen

Die wesentlichen Kritikpunkte an Keeles (1968) Definition motorischer Programme als muskelspezifische Repräsentationen von Handlungen betrafen den extrem hohen Speicherbedarf, den derartige Kontrollstrukturen hätten, und ihre geringe Anpassungsfähigkeit an die situativen Bedingungen (► Abschn. 18.2.2 und ► Kap. 20). Das Problem der geringen Adaptivität besteht bei näherer Betrachtung aus zwei verschiedenen Aspekten. Ein Aspekt hat mehr mit dem Erwerb motorischer Fertigkeiten zu tun. Hier lautet die (in ► Kap. 20 detaillierter diskutierte) Frage, welche

Neuronenpopulationen gehen nämlich stets mit Oszillationen der neuronalen Aktivität im Beta- (14–30 Hz) und/oder Gammabereich (30–80 Hz) einher (Überblick bei MacKay 1997), und gleichartige Oszillationen lassen sich unter vergleichbaren Bedingungen auch im Menschen mittels elektrophysiologischer Methoden nachweisen (Überblick bei Tallon-Baudry und Bertrand 1999). Pfurtscheller et al. (1994) maßen z. B. im 56-Kanal-EEG Gammaoszillationen unmittelbar vor Beginn von Bewegungen mit dem linken oder rechten Zeigefinger, der rechten Zehe oder der Zunge, und zwar jeweils genau am Ort der Repräsentation der betreffenden Bewegung im primären somatosensorischen Cortex (für eine partielle Replikation im MEG vgl. Salenius et al. 1996).

Vermutlich entsprechen die bislang beim Menschen beobachteten Synchronisationsphänomene verschiedenen kognitiven bzw. neurophysiologischen Funktionen. Einerseits tritt neuronale Synchronisation relativ konsistent zwischen den für die Planung einer Handlung verantwortlichen Arealen auf. Diese für Handlungsplanung wahrscheinlich bedeutsamste Art der Synchronisation ist an die **Handlungsinitiierung** gebunden und geht ihr unmittelbar voraus. Bei schnellen, ballistischen Bewegungen endet die Synchronisierung bei Bewegungsbeginn (Pfurtscheller et al. 1994; Salenius et al. 1996), bei langsamen, geführten Bewegungen kann sie auch noch während der Bewegung auftreten (Kristeva-Feige et al. 1993; Salenius et al. 1996). Andererseits ist zeitliche Synchronisation auch zwischen zentralmotorischen Strukturen und peripheren Muskelgruppen beobachtet worden (Brown et al. 1998; Salenius et al. 1996), was wahrscheinlich eher etwas mit dem Transport motorischer Kommandos an ausführende Effektoren zu tun hat. Schließlich könnte eine dritte Art von Synchronisationsphänomenen, vor allem Oszillationen im Betabereich, mit der allgemeinen Vorbereitung des motorischen Systems für Bewegungsplanung in Verbindung stehen (Kristeva-Feige et al. 1993).

## Zur Vertiefung 18.1 (Fortsetzung)



■ **Abb. 18.3** Die Logik der Merkmalsbindung durch neuronale Synchronisation. Das Beispiel zeigt die Planung einer Rückwärtsbewegung mit der linken und einer Vorwärtsbewegung mit der rechten Hand. **A** Ohne Synchronisation aktiviert die Planung der Hände und der Bewegungsrichtungen entsprechende Zellpopulationen, d. h., die involvierten Zellen zeigen eine erhöhte Feuerrate. Die Verteilung der Spikes erlaubt jedoch keinen Schluss darauf, welche Hand welche Bewegung ausführen soll. **B** Die Synchronisation der Feuerraten zu demselben Plan gehöriger Zellen (s. erste und zweite bzw. dritte und vierte Zeile) erlaubt die Bindung der betreffenden Handlungsmerkmale

Teile einer aktuell verwendeten motorischen Kontrollstruktur eigentlich langfristig erworben und gespeichert werden. Diese Frage war es, die Schmidt (1975) mithilfe seines Schemakonzpts lösen wollte. Der andere Aspekt betrifft die aktuelle Kontrolle von Handlungen. Um eine Handlung zu realisieren, müssen natürlich ihre Merkmale bestimmt werden, wie die Richtung, Distanz und Geschwindigkeit einer Handbewegung. Das erfordert jedoch nicht notwendigerweise, dass alle Merkmale auch explizit und im Zuge der zentralen Planung spezifiziert, sozusagen einprogrammiert, werden. Einige Merkmale von Bewegungen ergeben sich z. B. implizit durch die Beschränkungen der menschlichen Anatomie und der Körpermechanik (► Kap. 20). Andere Merkmale werden zwar flexibel und situationsbezogen festgelegt, aber die Festlegung erfolgt nicht durch den eigentlichen Handlungsplan, sondern durch Umweltinformation.

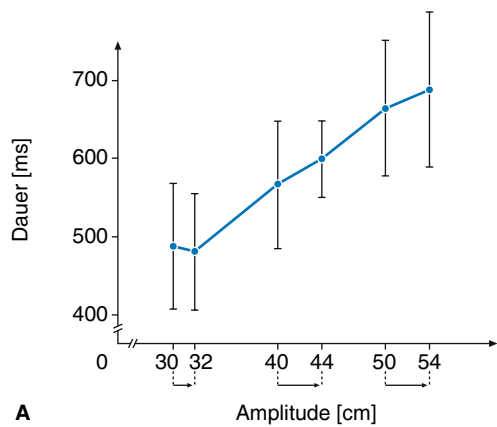
Ein illustratives Beispiel für das Wechselspiel interner Programmierung und externer Spezifizierung bei einer einfachen Handbewegung stellen sogenannte Double-Step-Experimente dar. In einem solchen Experiment von Prablanc und Pélisson (1990) bestand die Aufgabe der Probanden z. B. darin, ihre Hand von einer Startposition zu einer durch ein Licht angezeigten Zielposition in einer Entfernung von 30, 40 oder 50 cm zu bewegen. Die Bewegung konnte bei voller Sicht auf Hand und Ziel geplant werden; die Sicht auf die Hand war jedoch verwehrt, sobald die Bewegung begann. In einigen wenigen Durchgängen wurde das Bewegungsziel durch die Verschiebung des betreffenden Lichtes noch nach Beginn der Bewegung verändert, z. B. von 30 auf 32 cm, von 40 auf 44 cm oder von 50 auf 54 cm Entfernung vom Startort. Durch einen Trick waren die Probanden nicht in der Lage, diese Verschiebung zu sehen: Sie geschah nämlich während einer Augenbewegung. Wie Abb. 18.4A zeigt, waren die Bewegungen bei Verschiebung des Zielortes entsprechend verlängert, die veränderte Zielposition wurde also noch während der Bewegung einbezogen und die Hand korrekt zum neuen Ziel

bewegt. Wenn diese Korrektur durch eine zumindest partielle Reprogrammierung erreicht worden wäre, sollte sich dies in den Bewegungs- bzw. Geschwindigkeitsprofilen niedergeschlagen haben, d. h., die Bewegung sollte kurz unterbrochen, korrigiert und dann wieder aufgenommen worden sein. In Abb. 18.4B ist jedoch keinerlei Indiz für eine derartige Unterbrechung zu finden. Tatsächlich sind die Bewegungsprofile in den Durchgängen mit und ohne Zielverschiebung praktisch identisch. Daher ist es unwahrscheinlich, dass die Korrektur der Bewegung eine Reprogrammierung erforderte.

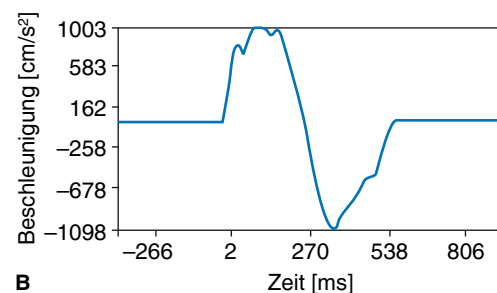
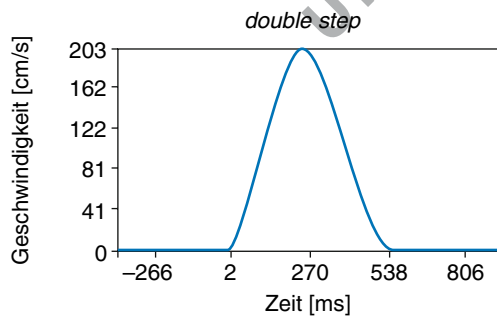
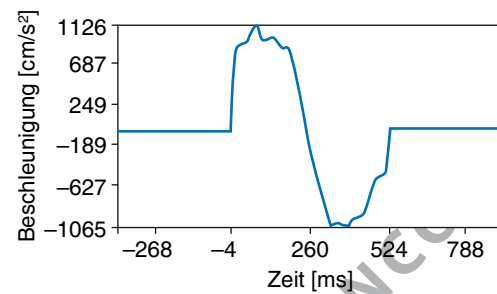
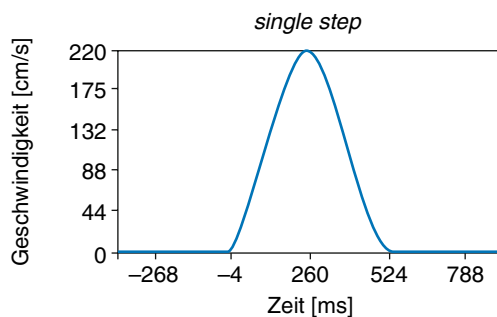
Befunde wie die von Prablanc und Pélisson (1990) legen nahe, dass nicht alle Handlungsmerkmale zu einem festen Bestandteil eines zentral erstellten Handlungsprogramms werden müssen. Vielmehr scheint es möglich, die Programmierung auf die wesentlichen Aspekte einer Handlung zu beschränken und damit die Bewegung nur ungefähr bzw. nur vorläufig zu bestimmen. Die nähere Ausgestaltung der Bewegungsdetails und die Anpassung der Handlung an die gegenwärtigen situativen Bedingungen können hingegen untergeordneten sensomotorischen Schleifen überlassen werden (Heuer 1981; Hommel 2010; Jeannerod 1984). Die eigentliche Programmierung einer Handlung wäre demnach nicht (notwendigerweise) vollständig und daher auch nicht (notwendigerweise) muskelspezifisch; vielmehr würde sie vor allem diejenigen Handlungsparameter festlegen, die für die Erreichung der intendierten Handlung kritisch sind. Die weitere Spezifikation der erforderlichen Bewegung(en) obläge hingegen in gewisser Weise der Umwelt.

Dieses Konzept der verteilten Verantwortlichkeit von zentralen (in diesem Fall *open-loop*) und mehr peripheren (in diesem Fall *closed-loop*) Mechanismen bzw. von handelnder Person und äußerem Handlungskontext ist konsistent mit einer Reihe weiterer Beobachtungen. Sakkadische Augenbewegungen bestehen z. B. aus einer ersten ballistischen Phase, die das Auge in die Nähe des Zieles bringt, gefolgt von einer Korrektursakkade, die

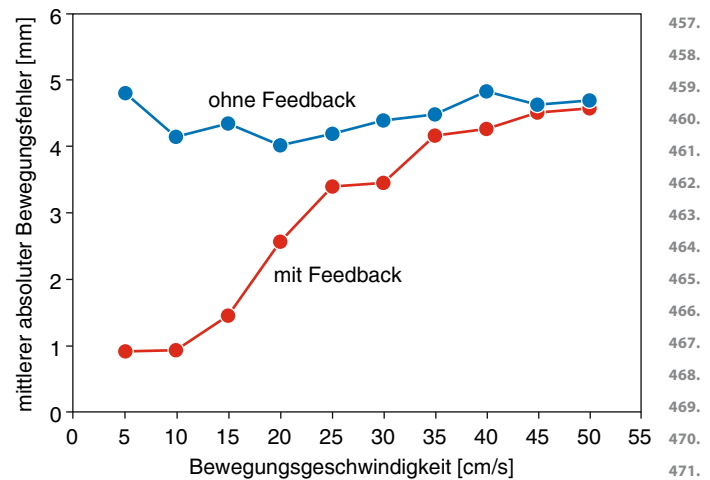




A



B



■ **Abb. 18.5** Bewegungsfehler in der Studie von Woodworth (1899) als Funktion der Bewegungsgeschwindigkeit für Bedingungen mit und ohne Feedback. Ohne Feedback hat die Schnelligkeit keinen Einfluss auf die Leistung; mit Feedback ist die Leistung umso besser, je langsamer die Bewegung ausgeführt wird. (Modifiziert nach Woodworth 1899)

die Retina letztlich exakt auf das Ziel ausrichtet. Verschwindet das Zielobjekt jedoch bei Handlungsbeginn, bleibt die Korrektursakkade aus (Prablanc und Jeannerod 1975); sie kann also nicht bereits vor Beginn der Bewegung programmiert worden sein. Ganz ähnlich bestehen zumindest schnelle Zeige- und Greifbewegungen aus einer ballistischen Transportphase, deren Verlauf weitgehend unabhängig von der Verfügbarkeit visueller und propriozeptiver Information ist, und einer Annäherungs- bzw. Manipulationsphase, die ganz wesentlich von visueller oder propriozeptiver Information abhängt (Jeannerod 1984; 1994; Woodworth 1899). Dies legt nahe, dass die erste, grobe Orientierung dieser Handlungen vorprogrammiert ist und die Feinanpassung erst während der Bewegung auf Basis aktueller Umweltinformation erfolgt.

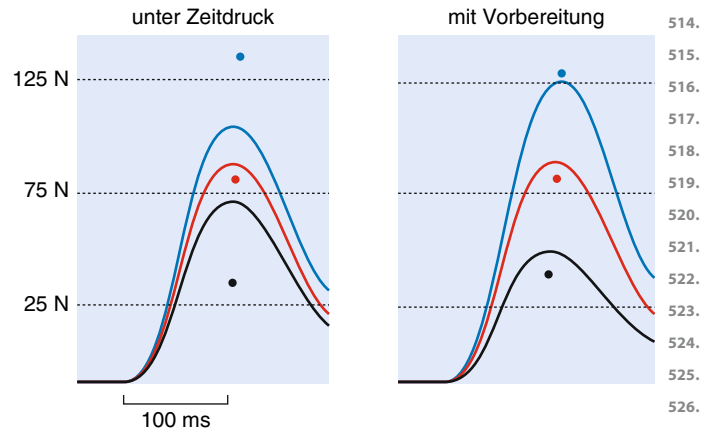
In Übereinstimmung damit ist die erste Transportphase von Zielbewegungen nur dann unabhängig von der Verfügbarkeit visueller Feedbacks, wenn die Bewegung sehr schnell ausgeführt wird. So ließ Woodworth (1899) in einer der ersten psychomotorischen Untersuchungen überhaupt Versuchspersonen einen Stift zwischen einer linken und rechten Ziellinie hin und her bewegen. Der Takt wurde dabei von einem Metronom vorgegeben, und die Probanden hatten ihre Augen entweder offen oder geschlossen. Wie ■ Abb. 18.5 zeigt, waren die Leistungen bei schnellen Bewegungen in beiden Bedingungen gleich gut, während langsame Bewegungen von der Verfügbarkeit visueller Information profitierten. Vergleichbare Befunde wurden später auch von Keele und Posner (1968) berichtet, die Zielbewegungen verschiedener

■ **Abb. 18.4** Ergebnisse aus dem Double-Step-Experiment von Prablanc und Pélissin (1990). A Die Bewegungsdauern variieren systematisch mit der tatsächlichen Amplitude; bei nachträglich veränderten Zielpositionen gehen die Bewegungen also zur veränderten, nicht zur ursprünglichen Zielposition. B Die Bewegungsprofile für Durchgänge ohne (*single step*) und mit (*double step*) veränderter Zielposition unterscheiden sich nicht; es gibt keine Hinweise für eine Unterbrechung zur Anpassung an die Zielveränderung. (Aus Prablanc und Pélissin 1990).

Dauer mit und ohne Raumbelichtung ausführen ließen (Übersicht und kritische Diskussion in Spijkers 1993).

Handlungsprogramme sind also nicht notwendigerweise starre, vollständig im Voraus festgelegte Kontrollstrukturen, wie die ursprüngliche Definition von Keele (1968) nahelegt. Wenn überhaupt, dann trifft diese Definition nur für sehr einfache, sehr schnell ausgeführte Bewegungen in einer vorhersagbaren, unveränderlichen Umgebung zu. Im Normalfall scheinen jedoch nur relativ abstrakte Handlungseigenschaften fixiert und vorprogrammiert zu werden, und dies dürften vor allem diejenigen Eigenschaften sein, die sich auf die eigentliche Funktion der Handlung beziehen. Vor allem räumliche Handlungsmerkmale sind hingegen auch noch nach dem Beginn einer Handlung veränderbar. Diese Arbeitsteilung hat verschiedene Vorteile. Erstens verringert sich der vor der Handlung erforderliche Programmierungsaufwand, sodass die Handlung schneller initiiert werden kann. Zweitens müssen nicht alle situativen Bedingungen vorausgesehen und nicht alle Handlungseigenschaften im Voraus festgelegt werden, was die Flexibilität der Handlung erhöht.

Ein dritter Vorteil könnte mit der Arbeitsteilung von ventralen und dorsalen visuellen Informationskanälen zusammenhängen. Wie in ► Kap. 2 und 22 diskutiert, haben eine Reihe von Arbeiten recht unterschiedliche Eigenschaften von zwei visuo-motorischen Verarbeitungspfaden aufgedeckt: einem dorsalen Pfad, der die primären visuellen und motorischen Cortices über den posteroparietalen Cortex verbindet, und einem ventralen Pfad, der durch den inferotemporalen Cortex verläuft (Ungerleider und Mishkin 1982). Der dorsale Pfad versorgt motorische Strukturen vor allem (z. B. Mishkin et al. 1983), aber wahrscheinlich nicht nur (Milner und Goodale 1995) mit räumlicher, handlungsbezogener Information, während der ventrale Pfad vor allem der Codierung von Objektinformation dient. Eine Reihe von Untersuchungen legt nahe, dass manuellen Handlungen andere, zuverlässigere Informationen über räumliche Eigenschaften von Zielorten und Objekten zur Verfügung stehen als verbalen Urteilen (Aglioti et al. 1995; Bridgeman et al. 1981). Allerdings stehen diese Informationen nur online, zur sofortigen Verwertung zur Verfügung (z. B. Bridgeman 2002; Rossetti und Régnier 1995). Mit Bezug auf die Unterscheidung zwischen ventralen und dorsalen Verarbeitungspfaden wäre nun folgende Zuordnung denkbar: Dorsal vermittelte Information könnte zwar pur und sehr präzise, aber nur kurzlebig, ventral verarbeitete Information dagegen kognitiv hochintegriert und (unter Umständen daher) langlebig sein (Milner und Goodale 1995; Rossetti und Pisella 2002). Wenn dem so ist, dann wäre zeitlich gesehen dorsale Information für die (in der Regel langwierigere) Planung einer Handlung zu kurzlebig, sodass die Planung vor allem auf ventrale Information zurückgreifen sollte. Da letztere jedoch unter Umständen zu unpräzise für die exakte Steuerung einer Handlung sein dürfte, liegt es nahe, nur die wesentlichen Aspekte der intendierten Handlung festzulegen und die Feinanpassung während der Ausführung durch dorsale Information besorgen zu lassen. Bislang ist dies jedoch nur eine, noch näher zu untersuchende, Möglichkeit. Tatsächlich werden die bislang vorliegenden Dissoziationen von Leistungen verbaler Urteile und manueller Handlungen noch kontrovers diskutiert, und ihre Beziehung zur Unterscheidung ventraler und dorsaler Verarbeitungspfade ist noch nicht voll-



■ **Abb. 18.6** Anzuzielende Maximalkräfte (Punkte) und tatsächlich aufgebrachte Kräfte (Linien) in Newton aus der Studie von Ghez et al. (1990). Bei der Instruktion, erst nach ausreichender Vorbereitung zu reagieren (rechtes Diagramm), werden die drei Zielkräfte sehr genau reproduziert, d. h., die maximal aufgebrachte Kraft korrespondiert gut mit dem definierten Kraftziel. Unter Zeitdruck (linkes Diagramm) streuen die tatsächlichen Kräfte hingegen nur wenig um die mittlere der drei möglichen Kräfte. (Aus Ghez et al. 1990).

ständig geklärt (Überblick bei McIntosh und Schenk 2009; Rossetti und Pisella 2002).

## 18.2.8 Programmierung und Initiierung von Handlungen

Die Metapher der motorischen Programmierung legt nahe, dass ein Handlungsprogramm zunächst erstellt und nach Abschluss der Programmierung motorisch implementiert wird. Die Initiierung einer Handlung wäre demnach in zeitlicher Hinsicht abhängig von ihrer Programmierung. Wie erörtert handelt es sich jedoch bei Handlungsprogrammen nicht um vollständig fixierte Strukturen und bei der Handlungsplanung nicht um einen zeitlich exakt begrenzbaren Prozess – Handlungspläne entfalten sich gewissermaßen in der Zeit. Tatsächlich gibt es Hinweise darauf, dass Handlungen vor Abschluss ihrer Programmierung initiiert werden können und daher die Initiierung einer Handlung nicht vom Abschluss ihrer Programmierung abhängen kann.

Ghez et al. (1990) untersuchten z. B. isometrische Ellenbogenbewegungen, wobei die erforderliche Kraft in drei Stufen variierte und durch einen visuellen Reiz angezeigt wurde. Bei ausreichend Zeit für die Bewegungsplanung konnten alle Kräfte mit vergleichbarer Genauigkeit produziert werden (■ Abb. 18.6, rechts). Unter Zeitdruck stellten sich jedoch deutliche Assimilationseffekte ein, d. h., die Unterschiede zwischen den Kräften wurden deutlich geringer und konvergierten auf die mittlere Kraft (■ Abb. 18.6, links). Die Autoren vermuten, dass die Probanden in dieser Bedingung zunächst stets eine Bewegung mit mittlerer Kraft planten und den Kraftparameter anschließend nach Maßgabe des präsentierten Reizes verringerten bzw. erhöhten. Dieser Prozess war bei sehr früher Initiierung der Bewegung wahrscheinlich noch nicht abgeschlossen, sodass die tatsächlich gemessenen Bewegungskräfte nur eine Art Schnappschuss eines kontinuierlichen Anpassungsprozesses darstellten.

Diese Überlegung passt zu Beobachtungen von Van Sonderen und Denier van der Gon (1991), in deren Studie Probanden zielgerichtete Armbewegungen ausführten. Wie bei anderen Double-Step-Experimenten (s. oben) wurde der Zielreiz in einigen Durchgängen kurz nach der Darbietung an einen anderen Ort verschoben. Die Zielgenauigkeit bei verschobenen Zielen hing dabei systematisch von der Reaktionszeit ab: Je später eine Bewegung initiiert wurde, desto wahrscheinlicher zielte der erste Bewegungsteil bereits auf den neuen Zielort. Aber auch in Durchgängen ohne Zielverschiebung variierte die Bewegungsrichtung mit der Reaktionszeit. Dies legt nahe, dass die Probanden auch hier einen (allerdings interindividuell variablen) „Standardparameter“ eingestellt hatten, um ihn nach der Reizverarbeitung kontinuierlich in Richtung des tatsächlichen Zieles zu modifizieren.

Diese Befunde sprechen für die zeitliche Unabhängigkeit von Handlungsprogrammierung und -initiiierung, was wiederum nahelegt, dass Programmierung und Initiierung auch unabhängig gesteuert werden. Dieselbe Schlussfolgerung ergibt sich auch aus Beobachtungen, dass **Handlungssequenzen** initiiert werden können, bevor alle Sequenzelemente programmiert worden sind (► Abschn. 18.3.3), und dass in Doppelaufgabenexperimenten die Planung und die Initiierung von Handlungen dissoziierbare Effekte aufweisen (► Abschn. 18.4.5).

Ein relativ einfaches, aber vielversprechendes Modell der Initiierung von Handlungsplänen ist von Bullock und Grossberg (1988; vgl. auch Rosenbaum 1987) vorgeschlagen worden. Diesem Modell zufolge wird die Initiierung durch ein intern generiertes Go-Signal festgelegt, das drei wichtige Eigenschaften hat:

1. Es ist unspezifisch und hängt somit nicht von der Art der vorbereiteten Handlung ab; es triggert gewissermaßen „blind“ den jeweils vorbereiteten Handlungsplan.
2. Es ist zeitlich unabhängig von der Handlungsplanung und ihrer Fortschritte; Go-Signale können daher in verschiedenen Planungsphasen generiert werden.
3. Es handelt sich bei Go-Signalen nicht um diskrete Ereignisse; sie bauen sich vielmehr über die Zeit kontinuierlich auf.

### 18.2.9 Programme, Pläne und Ziele

Im Lichte der bislang vorliegenden Ergebnisse zur Planung von Handlungen ist die an die Computersteuerung angelehnte Rede von motorischen Programmen nicht unbedingt falsch – schließlich können Computerprogramme durch Parametrisierung recht flexibel gestaltet werden –, aber doch oft eher irreführend. Einerseits scheinen Handlungspläne weniger motorisch zu sein, als die muskelbezogene Definition von Keele (1968) nahelegt. Andererseits entspricht das Konzept eines Programms als einer fertig zu stellenden, zu kompilierenden und dann zu implementierenden autonomen Kontrollstruktur in zu geringem Maße den Beobachtungen einer zielgerichteten, kontinuierlichen, zunächst abstrakten und dann zunehmend spezifischer werdenden Handlungsplanung, die sowohl verteilt repräsentierte Merkmalscodes als auch ergänzende, aktuelle Umweltinformation adaptiv integriert. Dementsprechend gelangt z. B. Shaffer (1991, S. 372) zu einer ganz anderen Definition des (dazu eigentlich nicht mehr recht passenden) Begriffs eines motorischen Programms als

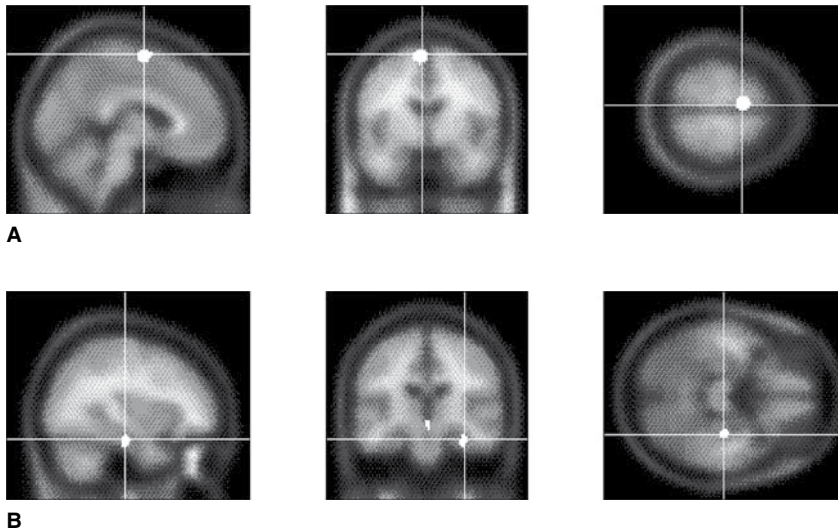
„a cognitive representation of the goal structure of an intended action“. Daneben sind eine Reihe anderer Begriffe und Konzepte diskutiert worden, die jeweils auf eine mehr externe, umwelt- und damit zielbezogene Rekonstruktion von Handlungsplanung aus sind. Vor allem aber ist zu fragen, mithilfe welcher Codes Handlungen geplant werden, wie sie entstehen und was sie repräsentieren.

In für seine Zeit ungewöhnlich detaillierter Weise ist diese Frage von Lotze (1852) behandelt worden. Es war seine Überzeugung, dass motorische Akte in gewisser Weise nicht direkt willentlich erzeugt werden können, weil das motorische System und seine Logik dem Willen grundsätzlich nicht zugänglich sind. Wohl aber ist es möglich, die Beziehung zwischen mentalen Ausgangsbedingungen und motorischen Akten zu studieren, sozusagen die Input-Output-Relationen der motorischen Black Box. Das Wissen darüber kann dann verwendet werden, um die Motorik indirekt zu steuern: Man „überredet“ das motorische System, bestimmte, intendierte Akte zu erzeugen, indem man diejenigen Ausgangsbedingungen herstellt, auf die das System gewöhnlich mit genau diesen Akten reagiert.


Harless (1861) ging ähnlichen Überlegungen nach, fokussierte aber mehr auf den eigentlichen Lernprozess, d. h. auf den Erwerb intentionalen Handelns. Wie Lotze ging er davon aus, dass das motorische System zunächst nicht direkt kontrollierbar ist, sondern z. B. in der frühen Kindheit zufällige oder reflexhafte Muster generiert. Er postulierte aber einen automatischen Lernmechanismus, der die gerade aktiven motorischen Muster mit den Codes wahrgenommener Bewegungseffekte (*feedback*) verknüpft. Mit der Erfahrung stabilisieren sich diese Assoziationen und können dann gewissermaßen in der Zeit umgekehrt und „rückwärts“ eingesetzt werden: Man aktiviert den Code des **Handlungseffekts**, der seinerseits das assoziierte motorische Muster aktiviert und damit den (nun) gewünschten Handlungseffekt hervorbringt. Kognitive Repräsentationen von erst Bewegungs-, dann Handlungseffekten dienen also der indirekten Kontrolle der mit ihnen verknüpften motorischen Aktivität als mentale Repräsentanten (*mental cues*) der durch sie erzeugbaren Bewegungen (James 1890).


Diese Denkfigur stellt die Basis für das vor allem durch James (1890) popularisierte **ideomotorische Prinzip** dar, das nach einer langen Zeit der Vergessenheit erst kürzlich wieder als Grundlage für Modelle der intentionalen Handlungskontrolle entdeckt wurde (Greenwald 1970; Hoffmann 1993; Hommel 2009; Hommel et al. 2001; Prinz 1987; s. auch ► Kap. 22). Tatsächlich werden neue, zunächst arbiträre Effekte von Bewegungen bereits von Säuglingen erlernt und zur Steuerung explorativen Verhaltens eingesetzt (► Zur Vertiefung 18.2). Auch Erwachsene erwerben Merkmale neuer Handlungseffekte automatisch, d. h., auch wenn diese eigentlich völlig irrelevant sind. Wenn Probanden z. B. die Erfahrung gemacht haben, dass bestimmte Tasten kontingent hohe und niedrige Töne erzeugen, dann drücken sie beim späteren Hören der Tonhöhen die vorher damit assoziierten Tasten automatisch schneller (Hommel 1996a) und mit höherer Wahrscheinlichkeit (Elsner und Hommel 2001). Wie PET- und fMRI-Studien zeigen, aktiviert die bloße Wahrnehmung eines gerade erworbenen Handlungseffekts Bereiche des kaudalen supplementär-motorischen Cortex, eines Areals mit





**Abb. 18.7** Hirnaktivität bei der Darbietung zuvor erworbener Handlungseffekte aus der Studie von Elsner et al. 2002. Zunächst führten Versuchspersonen manuelle Tastendrucke aus, die Töne (d. h. Handlungseffekte) einer bestimmten Höhe hervorriefen. Dann wurden sie einem PET-Scan unterzogen, während sie passiv Sequenzen mit verschiedenen Anteilen von zuvor erworbenen Handlungseffekt-tönen und anderen, neutralen Tönen zuhörten. Je größer der Anteil zuvor handlungsbezogener Töne war, desto stärker war die gemessene Aktivität im supplementär-motorischen Areal (A) und im rechten Hippocampus (B)

einer zentralen Rolle bei der Planung intendierter Handlungen (Elsner et al. 2002; Melcher et al. 2008;  Abb. 18.7). Mithilfe von fMRI konnte zudem nachgewiesen werden, dass die Vorbereitung einer manuellen Handlung Hirnregionen aktiviert, die der Wahrnehmung menschlicher Hände dienen, während die Vorbereitung einer Gesichtsbewegung Hirnregionen aktiviert, die der Wahrnehmung von Gesichtern dienen (Kühn et al. 2011). Mit anderen Worten, die Vorbereitung einer Handlung geht mit der Aktivierung von Repräsentation ihrer sensorischen Konsequenzen einher.

Diese Beobachtungen belegen, dass sich Handlungsplanung tatsächlich – ganz im Sinne des ideomotorischen Prinzips – der Codes von Handlungseffekten bedient. Diese Codes codieren einerseits perzeptive Merkmale, die mithilfe eines bestimmten motorischen Musters erzeugt werden können, andererseits sind die mit diesen motorischen Mustern assoziiert und repräsentieren diese in gewisser Hinsicht. Mit anderen Worten, wir planen Handlungen, indem wir eine antizipative Vorstellung darüber entwickeln, welche Effekte wir mit ihnen erreichen wollen. In Übereinstimmung damit aktiviert bereits die Vorstellung einer Bewegung nicht nur solche sensorische Areale, die an der Verarbeitung von Bewegungsfeedback beteiligt sind, sondern auch den prämotorischen Cortex und den supplementär-motorischen Cortex (Decety et al. 1994; Jeannerod 1994). Und selbst die Beobachtung von Handlungen (d. h. ihrer sensorischen Effekte) kann zu motorischer Aktivität und zur Aktivierung derjenigen Muskeln führen, die man selbst bei der Ausführung der betreffenden Handlung gebrauchen würde (Fadiga et al. 1995; s. auch  Kap. 21).

Eine wichtige Implikation dieser Überlegungen besteht darin, dass Handlungen nicht in Begriffen proximaler Muskelaktivität, sondern mit Blick auf ihre distalen Effekte geplant werden: Die Planung beginnt also mit dem Ziel und nicht dem Weg. Die Planung einer Handlung nicht von den motorischen Möglichkeiten, sondern von den intentionalen Bedürfnissen her zu organisieren, räumt dem Handlungsziel eine wesentliche, strukturbildende Rolle ein. Diese Funktion von Handlungszielen wurde vor allem von Miller et al. (1960) ausgearbeitet und in viele neuere Ansätze übernommen (z. B. Gallistel 1980; Hoffmann 1993; MacNeilage

1970; Prinz 1997; Rosenbaum et al. 1995). Bei Unterschieden in Detail und Erklärungsniveau ist die grundlegende Idee doch stets dieselbe, nämlich dass der Ablauf der Handlungsplanung (vom Ziel zur Bewegung) ihren späteren Verlauf (durch Bewegung zum Ziel) umkehrt.

### 18.3 Planung von Handlungssequenzen

Der vorhergehende Abschnitt hat die Planung sehr einfacher, oft weitgehend ballistischer Handlungen behandelt, wie das Drücken einer Taste, das Aussprechen einer Silbe, das Blicken in eine bestimmte Richtung, das Zeigen auf einen Ort oder das Ergreifen eines Gegenstands. Handlungselemente dieser Art sind die ersten, die ein heranwachsendes Kind zu beherrschen lernt, und auch im Alltag von Erwachsenen sind sie allenthalben anzutreffen. Diese Handlungselemente sind sozusagen die Bausteine unseres Handelns. Und doch sind es nur Bausteine, denn alltägliches Handeln ist in vielerlei Hinsicht komplexer (de Kleijn et al. 2014). Tatsächlich reihen wir nicht bloß willkürlich Element an Element, sondern führen kohärente, oft hochgeübte Handlungssequenzen aus, wie bei der Einnahme des Frühstücks, dem Gang zur Arbeit, dem Zubereiten eines Gerichts oder dem Besuch eines Konzerts. Bereits beim Aussprechen eines Wortes oder gar Satzes stellt sich eine ganze Reihe von Kontrollproblemen, die beim Ausführen einzelner Handlungselemente nicht auftreten. Um diese Kontrollprobleme, also um die Sequenzierung von Handlungen in der Zeit, geht es in diesem Abschnitt.

#### 18.3.1 Programmierung von Handlungssequenzen

Die wichtigste Frage bezüglich der Programmierung von Handlungssequenzen muss zunächst einmal lauten, ob überhaupt mehr als ein Teilschritt einer Handlung vor deren Beginn geplant wird. Alternativ wäre denkbar, dass Handelnde ihren eigenen Handlungen immer nur „einen Schritt voraus“ sind, Handlungselemente also immer erst dann planen, wenn der vorausgegan-



gene Schritt fertig programmiert, vielleicht sogar ausgeführt ist. Einerseits ist es sicher möglich, Beispiele für eine derart schrittweise *Programmierungsstrategie* zu finden, vor allem wenn die Programmierung sehr aufwendig und der Erfolg einzelner Handlungsschritte sehr ungewiss ist, wie etwa beim Erwerb des Skifahrens. Andererseits gibt es zahlreiche Hinweise für eine mehr „vorausschauende“ Planungsstrategie, die zeigen, dass Menschen durchaus in der Lage sind, längere Handlungssequenzen bereits vor Beginn des ersten Handlungselements zu planen.

### ■ Unabhängigkeit von Rückmeldung

Die schrittweise Kontrolle von Handlungssequenzen würde voraussetzen, dass z. B. das visuelle oder kinästhetische Feedback einer Teilbewegung genutzt wird, um die folgende Teilbewegung auszulösen (► Abschn. 18.3.2). Die Verarbeitung solchen Feedbacks erfordert jedoch Zeit, möglicherweise mehr Zeit, als bei manchen Bewegungen zur Initiierung des nächsten Elements zur Verfügung steht (Lashley 1951) – man denke nur an die Aussprache eines aus mehreren Phonemen bestehenden Wortes oder das Solo eines Schlagzeugers. Nehmen wir z. B. Tastendrucksequenzen, die Versuchspersonen mit Geschwindigkeiten von bis zu

## Zur Vertiefung 18.2

### Entwicklung der Handlungskontrolle

Die sowohl persönliche als auch soziale Bedeutung der Fähigkeit, intentionale Handlungen ausführen zu können, wird beim Beobachten eines kleinen Kindes und seiner Entwicklungsfortschritte besonders deutlich. Während früh nach der Geburt Augen und Gliedmaßen noch unkoordiniert, rast- und ziellos erscheinen, reichen schon wenige Wochen und Monate, um den neuen Erdenbürger als interessiertes, wollendes Individuum zu erleben, das eigenen Bedürfnissen in zunehmend differenzierter und effektiver Weise Ausdruck zu verleihen und aktiv nachzugehen vermag. Dabei gibt es zunächst viel zu lernen, denn wie kann man schon zu Beginn seines Lebens wissen, was man wie erreichen kann, welche Gliedmaßen wie bewegt sein wollen?

Was handlungsrelevante Information und ihren Erwerb betrifft, sind schon Säuglinge recht aufnahme- und lernfähig. Eine klassische Methode zur Untersuchung solcher Lernprozesse besteht darin, die Kinder mit neuen Handlungseffekten zu konfrontieren. Wie in ■ Abb. 18.8 gezeigt, wird z. B. ein Fuß mit einem Band umwickelt, dessen anderes Ende entweder mit einem elastischen Stab (■ Abb. 18.8A) oder mit einem über dem Bett angebrachten Mobile (■ Abb. 18.8B) verbunden wird (z. B. Rovee und Rovee 1969). In der Mobilegruppe können die Kinder also systematisch neue Ereignisse kreieren, indem sie das Mobile mithilfe ihres Fußes in Bewegung versetzen. In anderen Untersuchungen erhielten die Kinder der Versuchsgruppe Gelegenheit, ein Mobile durch Druck auf ihr Kopfkissen zu bewegen, während die Mobilebewegungen in der Kontrollgruppe zufällig waren und nicht von Bewegungen der Kinder abhingen (Watson und Ramey 1972). In wieder anderen Untersuchungen konnten Säuglinge die Höhe eines Tones (Rochat und Striano 1999) oder die Darbietungsqualität eines Filmes (Kalnins und Bruner 1973) durch verschieden starken Druck auf einen Schnuller manipulieren.

In Versuchen dieser Art sind die Kinder in den Versuchsgruppen mit handlungsabhängigem Feedback oft aktiver, was aber darauf zurückzuführen sein könnte, dass sich das handlungsabhängige Ereignis öfter oder

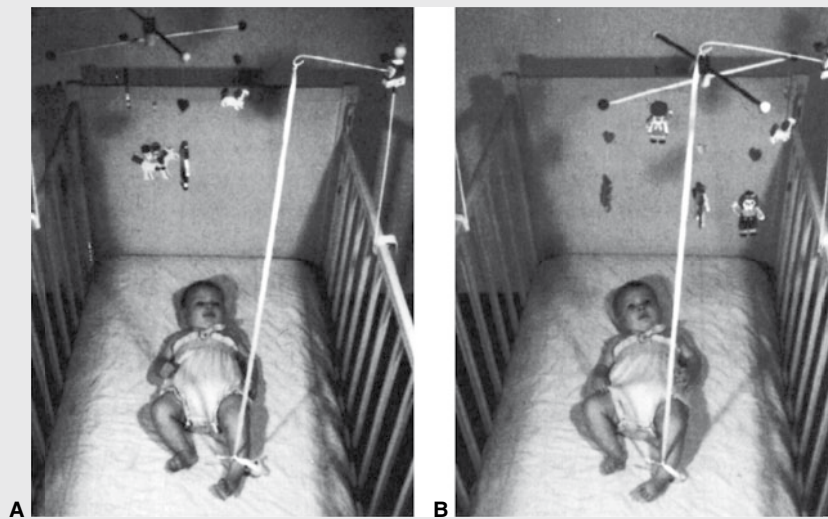
stärker einstellt. Interessanterweise lässt sich aber auch eine Art handlungsbezogenes Wiedererkennen nachweisen: Wenn die Kinder nach einer Zeit wieder mit dem Mobile konfrontiert werden, zeigen sie überzufällig häufig das zuvor damit assoziierte Verhalten – dies bereits im Alter von zwei Monaten (Watson und Ramey 1972) und sogar noch nach zwei oder mehr Tagen (Butler und Rovee-Collier 1989; Fagen et al. 1976). Die Kinder erwerben also durch die Erfahrung der Kontingenz von Bewegungen und Ereignissen eine bilaterale Assoziation zwischen deren kognitiven Repräsentationen, sodass die spätere Aktivierung der Ereignisrepräsentation auch die zuvor damit einhergegangene Bewegung „in Erinnerung ruft“ – ganz wie das ideomotorische Prinzip erwarten lässt (► Abschn. 18.2.9). Diese Assoziationen bilden gewissermaßen die Datenbasis, mit deren Hilfe dann Bewegungen nach Maßgabe ihrer Effekte und deren momentaner Wünschbarkeit ausgewählt werden können.

Während der Erwerb von Bewegungseffekt-Beziehungen schon bald nach der Geburt (und vielleicht früher) einsetzt, ist das Verhalten der Säuglinge zunächst aber oft reaktiv bzw. reizgetrieben. Sie sind sehr wohl in der Lage, zu erwartende Handlungseffekte vorherzusagen (und sind überrascht, wenn diese nicht eintreten), aber sie benutzen die Repräsentation erworbener Handlungseffekte noch nicht, um ihre Handlungen zielgerichtet zu steuern (Verschoor et al. 2013). Mit ungefähr sieben bis zehn Monaten setzt ein nächster Entwicklungsschub ein, durch den die Kinder sehr viel besser als vorher in der Lage sind, bei manuellen Handlungen kontraproduktive Greif- und Vermeidungsreflexe zu unterdrücken (Diamond 1990) und interferierende, alternative Handlungsziele vorübergehend auszublenden (Diamond und Gilbert 1989). Auch das Verhalten in Piagets A-nicht-B-Aufgabe wird deutlich besser. In dieser Aufgabe werden die Kinder zunächst dafür belohnt auf ein Objekt zu reagieren (z. B. dieses zu ergreifen), das an einem Ort A versteckt ist. Nach einer Zeit wird das Objekt wieder an Ort A versteckt, dann aber sichtbar zu einem

anderen Ort B gebracht. Junge Kinder haben erhebliche Probleme mit dieser Aufgabe und suchen oft zuerst an Ort A, vor allem wenn zwischen dem Verstecken an B und der Reaktion einige Sekunden vergehen. Im Alter von sieben bis zwölf Monaten nimmt die Lösungswahrscheinlichkeit jedoch dramatisch zu, und die zeitliche Toleranz steigt erheblich an (Diamond 1985). Auch vorher erworbene Handlungseffekte können nun für die Planung zielgerichteter Handlungen eingesetzt werden (Verschoor et al. 2010). Dieser Entwicklungssprung könnte etwas mit der Reifung des mutmaßlich für derartige Aufgaben wichtigen (prä-)frontalen Cortex zu tun haben. Zum einen scheitern nämlich auch Affen mit Läsionen im dorsolateralen präfrontalen Cortex oft an der A-nicht-B-Aufgabe (Diamond und Goldman-Rakic 1986), und zum anderen erreicht die metabolische Aktivität im menschlichen frontalen Cortex erst im Lebensalter von acht bis zwölf Monaten erwachsenenähnliche Ausmaße (Chugani 1994).

Ein weiterer wichtiger Schritt für die Entwicklung der Handlungskontrolle findet mit ungefähr fünf bis sechs Jahren statt. Während jüngere Kinder oft nicht in der Lage sind, in Anwesenheit einer sofort verfügbaren, aber kleinen Belohnung auf eine bevorzugte oder größere Belohnung zu warten, haben Kinder ab fünf bis sechs Jahren kaum noch Probleme damit (Mischel und Mischel 1983). Im Unterschied zu jüngeren Kindern haben Fünf- bis Sechsjährige auch erheblich weniger Schwierigkeiten, ihre Handlungen in Go/NoGo-Aufgaben zu unterdrücken (Livesey und Morgan 1991; Luria 1961), zwischen verschiedenen Reiz-Reaktions-Regeln hin und her zu wechseln (Zelazo et al. 1995), reizinkompatible Reaktionen auszuführen (Gerstadt et al. 1994) und irrelevante Handlungstendenzen zu unterdrücken (Eenshuistra et al. 2004). Ähnliche Probleme bei der Handlungskontrolle wie die unter Fünfjährigen zeigen auch Patienten mit Läsionen im Frontallhirn (z. B. Décarry und Richer 1995; Drewe 1975; Luria 1966; Perret 1974), was auch bei diesem Entwicklungsschritt eine Beziehung zur corticalen, vor allem frontocorticalen Reifung nahelegt.

## Zur Vertiefung 18.2 (Fortsetzung)



■ **Abb. 18.8** Typische Versuchsanordnung in Studien zum Erwerb von Handlungseffekten bei Kleinkindern. In Bedingung (A) haben die Fußbewegungen des Kindes keine weiteren Effekte, während das Kind in Bedingung (B) die Bewegungen des Mobiles durch Fußbewegungen kontrollieren kann. (Aus: Rovee-Collier et al. 1980, S. 1159–1161. © 1980, American Association for the Advancement of Science)

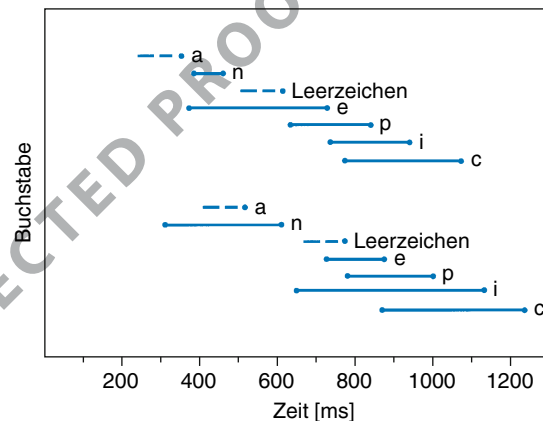
100 ms pro Tastendruck ausführen können (Sternberg et al. 1978). Legt man Keeles und Posners (1968) Schätzung von 190–260 ms für die Verarbeitung visuellen Feedbacks zugrunde, so können die einzelnen Elemente solcher Sequenzen unmöglich von visuellem Feedback des vorangegangenen Elements initiiert worden sein.

Als konkretes Beispiel kann die Untersuchung von Gentner et al. (1980) dienen, in der die Bewegungen geübter Sekretärinnen beim Schreibmaschineschreiben aufgezeichnet wurden.

■ **Abb. 18.9** zeigt den Zeitpunkt der Initiierung und die Dauer einzelner, gefilmter Fingerbewegungen beim Schreiben der Phrase „an epic“. Besonders auffällig ist hier, dass die zur Taste „i“ gehörende Bewegung beginnt, noch bevor die Tasten der drei vorangehenden Zeichen („\_\_ep“) gedrückt worden sind. Zumindest diese Bewegung kann also nicht vom Vorliegen des Feedbacks der Vorgängerelemente abhängig gewesen sein. Auch wenn das Argument der Feedbackunabhängigkeit in diesem Beispiel sehr plausibel ist und oft zur Unterstützung von Programmierungstheorien herangezogen wurde, so wird es doch in vielen Fällen überschätzt. So ist nicht auszuschließen, dass Feedback schneller verarbeitet wird als von Keele und Posner (1968) angenommen; Sequenzelemente könnten durch Feedback von früheren, nicht nur den unmittelbar vorauslaufenden Elementen initiiert werden; und die Initiierung könnte auf der Basis antizipierten, nicht unbedingt tatsächlichen Feedbacks erfolgen (► Abschn. 18.3.2). Im Zusammenhang mit Handlungssequenzen sind also die Argumente für Feedbackunabhängigkeit nicht ganz so zwingend wie in Bezug auf einfache, ballistische Handlungen (► Abschn. 18.2.1).

#### ■ Antizipationseffekte und Reihenfolgefehler

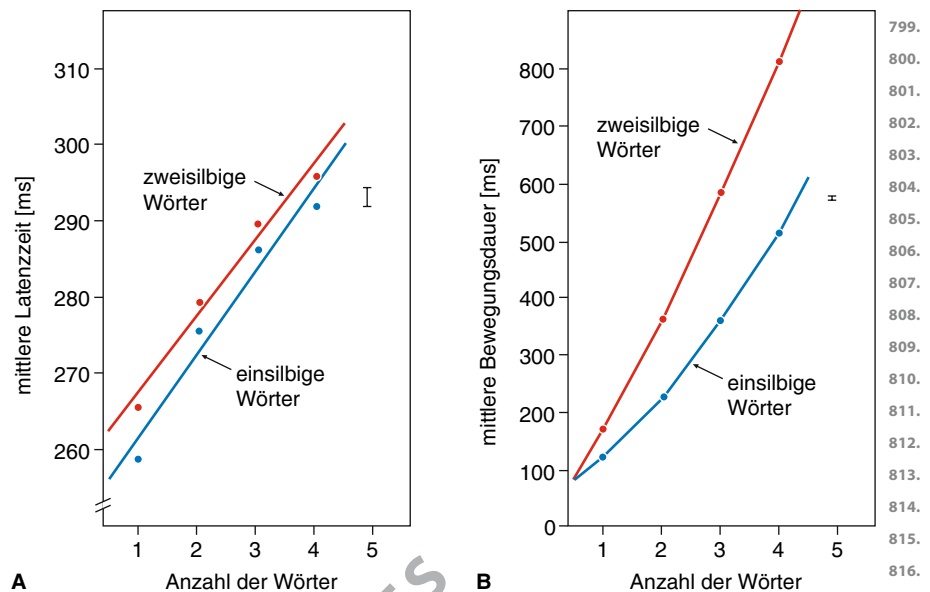
Für die Vorausplanung von mehr als einem Element einer Handlungssequenz spricht die Beobachtung von Antizipationseffekten, also Einflüssen späterer Elemente einer Sequenz auf frühere. Beim Maschineschreiben hängt z. B. die zur Produktion von Buchstabenfolgen benötigte Zeit in erheblichen Maße von dem Wort ab, innerhalb dessen sie vorkommen (z. B. Terzuolo und Viviani 1980). Auch **Reihenfolgefehler**, die vor allem bei der vokal und manuellen Wort- und Satzproduktion intensiv unter-



■ **Abb. 18.9** Zwei Beispiele für Beginn und Dauer der Fingerbewegungen beim maschinellen Schreiben der Phrase „an epic“ aus der Studie von Gentner et al. (1980). Es fällt auf, dass die Reihenfolge, in der die Fingerbewegungen beginnen, nicht immer die Reihenfolge der Buchstaben widerspiegelt. (Aus Rosenbaum 1991)

sucht wurden (Fromkin 1980), lassen auf die Antizipation späterer Elemente einer Sequenz schließen. Innerhalb einzelner Worte treten vor allem Buchstabenvertauschungen auf, z. B. „bootfall“ statt „football“ beim Sprechen (Garrett 1982) oder „ignroe“ statt „ignore“ beim Schreibmaschineschreiben (Shaffer 1975). Aber auch Buchstaben nachfolgender Worte können Fehler induzieren, z. B. „speer bill“ statt „spill beer“ (Dell 1986), und selbst über mehrere Worte hinweg sind Einflüsse möglich, wie in den Sätzen „You hissed all my mystery lectures“ (Potter 1980) oder „Writing a mother to my letter“ (Dell 1986). Die letzten beiden Beispiele verdeutlichen, dass die syntaktische Struktur der Sequenz trotz der semantischen Fehler durchaus korrekt sein kann. Die Sprechplanung ist in diesen Fällen also keineswegs völlig gescheitert, vielmehr besteht das Problem in der Zuordnung von Sequenzelementen zu syntaktisch definierten Sequenzpositionen (► Abschn. 18.3.2). Derartige Probleme können nur auftreten, wenn der jeweilige Satz im Voraus geplant und alle erforderlichen Elemente vor Beginn der Satzproduktion spezifiziert wurden.

**Abb. 18.10** Reaktionszeiten (A) und Bewegungsdauern (B) aus der Untersuchung von Sternberg et al. (1978) für die verbale Produktion verschieden langer Sequenzen ein- und zweisilbiger Wörter. Charakteristisch ist vor allem der systematische Anstieg der Reaktionszeit mit zunehmender Silbenzahl und zunehmender Sequenzlänge



### Komplexitätseffekte

Wenn ein Handlungsschritt im Voraus geplant wird, sollte dies eine bestimmte, messbare Zeit dauern. Falls tatsächlich mehrere Elemente einer Handlungssequenz im Voraus geplant werden, so lässt dies erwarten, dass die für die Planung einer Sequenz erforderliche Zeit mit der Sequenzlänge zunimmt (► Abschn. 18.2.1). In der Tat haben viele Untersuchungen über derartige Zusammenhänge berichtet. Zum Beispiel steigt die für die Initiierung einer Handlungssequenz benötigte Reaktionszeit mit der Anzahl auszusprechender Silben (Eriksen et al. 1970; Sternberg et al. 1978; ▣ Abb. 18.10), zu drückender Tasten (Sternberg et al. 1978), von Handbewegungen (Fischman 1984; Harrington und Haaland 1987; Henry und Rogers 1960) und von willkürlichen Augenbewegungen (Inhoff 1986).

Für die Vorausplanung von Handlungssequenzen spricht auch die Abhängigkeit der Reaktionszeit von der Position und Anzahl noch festzulegender Handlungselemente. Rosenbaum et al. (1984) ließen Versuchspersonen z.B. Sequenzen von zwei oder drei Tastendrücken ausführen. In jedem Durchgang signalisierte ein Reiz, welche von zwei möglichen Sequenzen auszuführen waren. Diese beiden Sequenzen unterschieden sich nur in einem Element, dessen Position variiert wurde. Die Reaktionszeit für die Initiierung der Sequenz war umso länger, je weiter vorn in der Sequenz sich das unterscheidende Element befand. Dies legt nahe, dass die sich jeweils vor dem kritischen Element befindlichen Elemente vorausgeplant wurden, sodass bei Darbietung des Signalreizes nur noch die restlichen Elemente (vom kritischen Element an) geplant werden mussten.

### 18.3.2 Sequenzierung von Handlungselementen

Wenn Handlungssequenzen nicht durch externe Reize gesteuert und die Repräsentationen von mehr als einem Sequenzelement bereits vor der Initiierung einer Sequenz aktiviert werden, resultiert daraus ein Sequenzierungsproblem. Nehmen wir an, ein

geübter, deutschsprachiger Sprecher möchte den Begriff WORT aussprechen (in den Beispielen dieses Abschnitts beziehen sich Begriffe in Großbuchstaben auf Reize bzw. Reizrepräsentationen und Begriffe in Anführungsstrichen auf verbale Handlungen bzw. deren Repräsentationen). Plausiblerweise haben sich durch Übung Assoziationen zwischen der Repräsentation des Begriffs mit Codes der Buchstaben W, O, R und T bzw. der entsprechenden phonologischen Lautmuster gebildet, sodass die Aktivierung der Begriffsrepräsentation mittelbar auch zur Aktivierung der Codes der auszusprechenden Lautmuster führt. Was aber hindert nun die Person, statt „wort“ die Lautfolge „trow“ oder „orwt“ zu produzieren? Wie wird sichergestellt, dass (jedenfalls im Normalfall) die aktivierten Handlungselemente in der korrekten Reihenfolge ausgesprochen werden?

Zur Beantwortung dieser Frage sind eine Reihe von Überlegungen und Modellen vorgeschlagen worden, deren basale Logik im Folgenden dargestellt wird. In der Literatur sind diese Überlegungen in der Regel im Sinne sich ausschließender Alternativen diskutiert worden, was zu der etwas unübersichtlichen Befundlage in diesem Bereich beigetragen haben mag. Jüngere Untersuchungen legen hingegen nahe, dass die Art und Weise der Programmierung von Handlungssequenzen aufgaben- und übungsspezifisch ist, sodass unter Umständen verschiedene Modelle für verschiedene Situationen und Bedingungen gültig sind.

### Verkettung von Handlungselementen

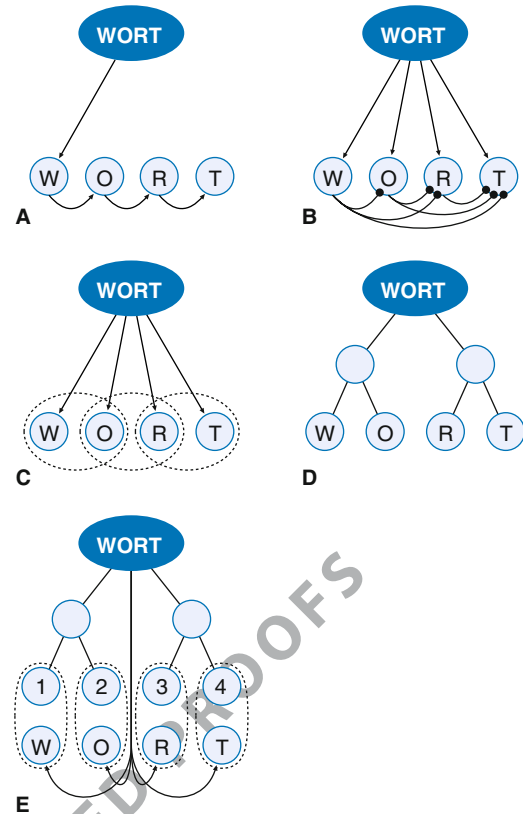
Frühe Modelle der Planung und Kontrolle von Handlungssequenzen gingen davon aus, dass die produzierte Abfolge von Handlungselementen durch eine entsprechende Abfolge interner Aktivierungen gesteuert wird. Den Überlegungen von James (1890) zufolge initiiert die interne Repräsentation eines Reizes den jeweils assoziierten Handlungsschritt, und sobald dessen Ausführung wahrgenommen worden ist, wird Aktivierung an die Repräsentation desjenigen Reizes weitergeleitet, der mit dem folgenden Handlungsschritt assoziiert ist. Beim Erwerb der Aussprache des Wortes WORT wird also zunächst jeder einzelne Buchstabe in einen entsprechenden Laut übersetzt, so-



dass die Sprechhandlung als Abfolge von Reiz-Reaktions-Paaren ( $W \rightarrow „w“, O \rightarrow „o“, R \rightarrow „r“, T \rightarrow „t“$ ) beschrieben werden kann. Durch Wiederholung der Reizsequenz und der entsprechenden Lautsequenz werden jedoch direkte Assoziationen zwischen den Repräsentationen angrenzender Reizpaare gestiftet ( $W \rightarrow O$ ,  $O \rightarrow R$ ,  $R \rightarrow T$ ), die bei Eintreffen von Feedback über eine Reaktion auf den momentanen Reiz wirksam werden und so die Repräsentation des folgenden Reizes und die entsprechende Reaktion aktivieren. Die Kontrolle durch externe Reize wird also im Verlauf von Übung durch interne, repräsentationsbezogene Kontrolle ersetzt, wie in **Abb. 18.11A** skizziert.

Diese allgemeine Idee der Sequenzkontrolle ist verschiedentlich verfeinert, modifiziert und erweitert worden, um Kritikpunkten zu begegnen. Münsterberg (1889) argumentierte, dass die eine Sequenz steuernden Assoziationen nicht zwischen Reizrepräsentationen, sondern zwischen motorischen (Teil-) Programmen bestehen; die Elemente in **Abb. 18.11A** stünden demnach für motorische Muster. Gäbe es Assoziationen zwischen Reizrepräsentationen, so lautet das Argument, stünde keine Information über die korrekte Reihenfolge zur Verfügung, denn Assoziationen seien ja bilateral (ein Problem, das James durch das Postulat einseitig gerichteter Assoziationen vermied). Inwiefern und weswegen dieses Problem allerdings auf der motorischen Seite nicht besteht, wurde von Münsterberg nicht behandelt. Allerdings zeigt sein Ansatz, dass Verkettungsmodelle nicht notwendigerweise der Annahme bedürfen, dass Feedback vorangehender Sequenzelemente Einfluss auf die Handlungssteuerung hat. Tatsächlich muss die Weitergabe von Aktivierung zwischen verketteten Elementen einer Sequenz nicht unbedingt auf Eintreffen solchen Feedbacks warten, wie James annahm, sondern könnte nach einer festgelegten Verzögerung, auf der Basis antizipierten Feedbacks (Greenwald 1970; Hoffmann et al. 2001) oder durch Feedback von früheren als den unmittelbar vorangehenden Elementen erfolgen (Rosenbaum 1991). Belege für die Unabhängigkeit der Kontrolle von Handlungssequenzen von sensorischem Feedback sind also weniger kritisch für den Erfolg von Verkettungsmodellen als vielfach angenommen.

Ein weiteres Problem von James' Version des Verkettungsmodells besteht in dessen fehlender Zielgerichtetheit: Einmal angefangen, führt man eine Sequenz zu Ende, ohne eine Repräsentation der Funktion, des eigentlichen Zieles der Handlungssequenz zu besitzen. Hull (1931) begegnete diesem Mangel durch zwei Annahmen (Greenwald 1970). Erstens postulierte er, dass eine Sequenz durchgängig von motivationalen Zuständen (*drives*) begleitet und mit ihnen assoziiert sein kann, sodass diese Zustände in gewisser Weise den Hintergrund der Handlung repräsentieren. Zweitens vermutete er, dass der letzte, zielführende Handlungsschritt schon bei Ausführung früherer Schritte teilweise aktiviert sein könnte (*fractional anticipatory goal response*), sodass Teile seiner sensorischen Effekte (d.h. Repräsentationen von Aspekten des wahrgenommenen Handlungszieles) die Ausführung der Sequenz begleiten und mit ihr assoziiert werden. Mit anderen Worten, Repräsentationen des Grundes, des Zieles und letztlich auch des Ablaufs einer Handlungssequenz könnten deren Ausführung begleiten und zu ihrer Kontrolle beitragen – eine Erwägung, die auch in modernen Modellen eine zentrale Rolle spielt.



**Abb. 18.11** Grundstrukturen der Modelle zur Planung sequenzieller Handlungen. **A** Lineare Verkettung. **B** Parallele Aktivierung und Vorwärtsinhibition. **C** Integration des lokalen Kontexts. **D** Hierarchische Planung. **E** Episodische Bindung von Bewegungselementen an hierarchisch organisierte Syntax

Der Ansatz von Hull (1931) geht davon aus, dass Teile des finalen Elements der Repräsentation einer Handlungskette bereits aktiviert sein können, bevor sie sozusagen „an der Reihe“ sind. Nun legen aber Beobachtungen von Antizipationseffekten (► Abschn. 18.3.1) nahe, dass neben dem letzten auch andere Elemente einer Sequenz vor deren Beginn aktiviert sein können. Die Planung der Lautsequenz „wort“ sollte also die Aktivierung der Codes aller vier betroffenen Laute bereits vor Sequenzbeginn umfassen, was der durchaus eleganten Annahme widerspricht, zeitliche Ordnung könne (allein) durch die sequenzielle Weitergabe von Aktivierung hergestellt werden. Auch Effekte der Komplexität einer Sequenz auf ihre Initiierungszeit (► Abschn. 18.3.1) sind unvereinbar mit der Annahme, Sequenzelemente würden Schritt für Schritt geplant. Eine mögliche Lösung für dieses Problem ist von Estes (1972) vorgeschlagen worden. Wie in **Abb. 18.11B** dargestellt, geht er vom Ineingangreifen zweier Mechanismen aus: Erstens werden zur Vorbereitung einer Sequenz alle ihre Elemente parallel voraktiviert, was Kontext- und Antizipationseffekte und Vertauschungen erklärt. Zweitens wird jedoch gleichzeitig eine Art Vorwärts-Inhibitionsstruktur angelegt, nach der jedes Element alle ihm nachfolgenden Elemente hemmt. Zunächst führt diese Struktur dazu, dass das erste Element am meisten aktiviert ist und als Erstes zur Ausführung gelangt. Sobald das geschieht, so lautet die Annahme, hemmt es sich selbst, sodass das zweite Element am meisten aktiviert ist und ausgeführt wird usw. Die Überlegungen von Estes (1972)



wurden von Rumelhart und Norman (1982) weitergeführt und in ein recht umfassendes Modell des Schreibmaschinenschreibens integriert. Dennoch bleibt eine Reihe von Fragen offen, z. B. wie eine derartige Inhibitionsstruktur erworben und implementiert wird (Rosenbaum 1991; ► Kap. 10).

Zusammenfassend lässt sich einerseits schlussfolgern, dass Verkettungsmodelle nicht alle Aspekte der Sequenzplanung hinreichend und korrekt erfassen und daher keine allgemeine Erklärung darstellen können. Andererseits muss das nicht heißen, dass es keine Phänomene gibt, die durch solche Modelle adäquat beschrieben würden. Ein gutes Beispiel wird von Greenwald (1970) erörtert. Nehmen wir an, eine Person lernt ein Gedicht auswendig und wird dann gebeten, die *n*te Zeile zu zitieren. Sehr wahrscheinlich nimmt die Reaktionszeit dafür mit der Größe von *n* (also mit der Position der Zeile im Gedicht) zu, was dafür spricht, dass die Repräsentation eines bestimmten Elements nur durch das mentale Durchgehen der Sequenz aufgefunden werden kann. Auch ist unwahrscheinlich, dass ein Sprecher vor Beginn der Rezitierung von Homers *Ilias* erst sämtliche Strophen intern aktivieren muss oder dazu überhaupt in der Lage ist. Wahrscheinlich ist hingegen, dass Verkettungsmodelle bestimmte Aspekte der Planung relativ langer und hochgeübter Handlungssequenzen recht gut abbilden (► Abschn. 18.3.3), auf andere Handlungen hingegen weniger gut anwendbar sind.

#### ■ Integration von Handlungselementen

Eine der Basisannahmen von Verkettungsmodellen der Sequenzplanung besteht darin, dass die Elemente einer kognitiv repräsentierten Sequenz an sich unabhängig bleiben und nur durch Assoziationen mit anderen, nachfolgenden Elementen verbunden sind. Dies stellt insofern ein Problem dar, als Assoziationen nicht unabhängig von Kontexten existieren können. Wären z. B. die Codes der Laute „o“, „r“ und „t“ nur in der in Abb. 18.11A dargestellten Weise assoziiert, so wäre es zwar möglich, „ort“ zu sagen, nicht aber „rot“ oder „traube“ – eine offensichtlich unzutreffende Vorhersage. Welche Codes mit welchen anderen Codes in welcher Weise assoziiert sind, kann nicht invariant sein, sondern muss also von der Aufgabe und dem Handlungsziel abhängen.

Einen Beitrag zur Lösung dieses Problems stellt die Überlegung von Hull (1931) dar, Repräsentationen von Motivation und Ziel mit der repräsentierten Handlungssequenz zu verknüpfen, da dies den resultierenden Handlungsplan kontextsensitiv gestaltet. Durch die Einbeziehung von Information über interne und externe situative Bedingungen werden so die Codes von Sequenzen gewissermaßen situativ gefärbt und damit von andersartigen Kombinationen derselben Codes unterscheidbar.

Einen etwas anderen Ansatz mit demselben Ziel verfolgte Schwarz (1933) in seinen Untersuchungen zur lernabhängigen kognitiven Repräsentation von Handlungssequenzen. Er nahm an, dass die Codes einzelner Handlungselemente durch Übung zu funktionalen Einheiten verschmelzen – eine Art Gestaltbildung in der Handlungsplanung. Die Bildung solcher Einheiten lässt sich auch im Alltag leicht beobachten, wenn z. B. beim geübten Autofahrer alle mit demselben Unterziel (z. B. Gang einlegen) ausgeführten Teilbewegungen so flüssig miteinander verbunden werden, dass sie für Handelnde und Beobachter praktisch nicht mehr separierbar sind. Besonders offensichtlich ist diese Ein-

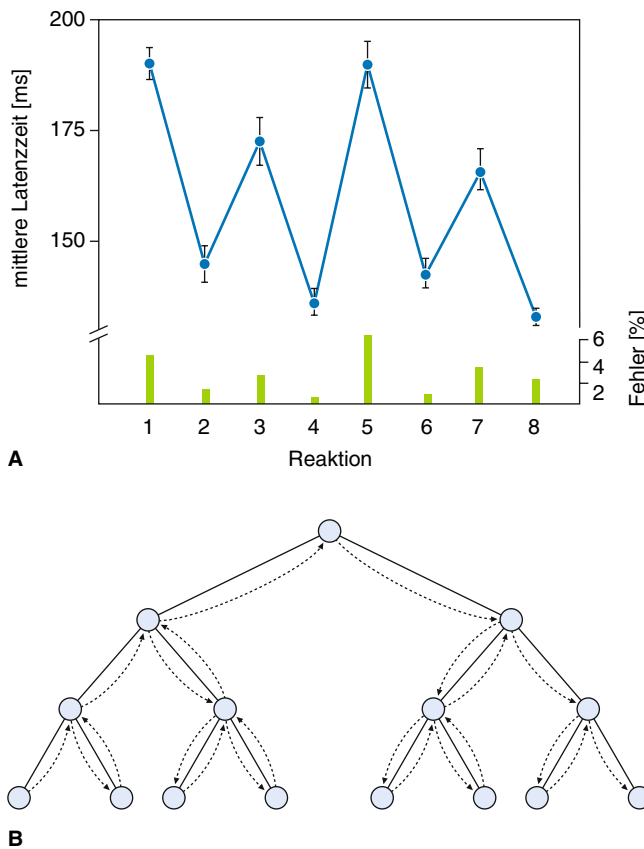
heitsbildung beim Schreiben von Buchstaben: So verlängert die Komplexität der geplanten Bewegung die Planungszeit beim Schreiben von unbekannten, arbiträren Symbolen, nicht aber von bekannten Buchstaben (Hulstijn und van Galen 1988). Dies legt nahe, dass ganze Buchstaben die beim Handschreiben effektive Planungseinheit darstellen und nicht die sie konstituierenden Linien bzw. Teilbewegungen (Teulings et al. 1986).

Auch der Vorschlag von Wickelgren (1969) geht von einer Art Einheitsbildung aus. Seine in Abb. 18.11C skizzierte Grundidee besteht darin, dass Elemente von Sequenzen nicht kontextunabhängig repräsentiert sind, sondern Informationen über vorauslaufende und nachfolgende Elemente enthalten. Die Lautfolge „wort“ wäre also nicht durch eine Reihe abstrakter Codes, sondern durch jeweils dreiwertige Repräsentationen vertreten {#wo, wor, ort, rt#}, sodass dieselben Laute in anderen Sequenzen separat darstellbar sind, wie etwa in „rot“ {#ro, rot, ot#} und „traube“ {#tr, tra, rau, aub, ube, be#}.

Abschließend lassen sich Integrationsansätze nicht unabhängig von der betreffenden Aufgabe und weiteren theoretischen Annahmen bewerten. Sicher lösen sie nicht alle wesentlichen Probleme der Planung von Handlungssequenzen (Rosenbaum 1991). Denn obwohl kontextspezifische Repräsentationen die separate Codierung verschiedener Kombinationen derselben Sequenzelemente erlauben, können sie nicht erklären, wieso man trotz der Gleichheit der ersten Lautrepräsentation statt „wort“ {#wo, wor, ort, rt#} nicht „wolga“ {#wo, wol, olg, lga, ga#} sagt. Auch bleibt unklar, wie derart episodisch codierte Repräsentationen den Erwerb allgemeiner Lautbildungsregeln ermöglichen. Andererseits bedeuten diese theoretischen Unzulänglichkeiten nicht unbedingt, dass die Idee einer kontextspezifischen, relationalen Codierung an sich falsch wäre. In veränderter Form findet sie sich dann auch in Modellen der hierarchischen Sequenzplanung wieder (s. unten).

#### ■ Hierarchische Kontrolle

In einer Studie von Rosenbaum et al. (1983) führten ungeübte Versuchspersonen schnelle Folgen von Fingerbewegungen aus, wobei u. a. die für die Initiierung jeder einzelnen Bewegung erforderliche Zeit gemessen wurde. Abb. 18.12A zeigt die Ergebnisse für die Abfolge linker Mittelfinger → rechter Mittelfinger → linker Mittelfinger → rechter Mittelfinger → linker Zeigefinger → rechter Zeigefinger → linker Zeigefinger → rechter Zeigefinger (M → m → M → m → Z → z → Z → z). Offensichtlich folgen diese Reaktionszeiten einem bestimmten Muster, das, wie weitere Ergebnisse zeigten, weniger von den einzelnen Fingerbewegungen abhing als von der Art und Weise, in der sie kombiniert waren. Um dieses Muster zu erklären, griffen die Autoren Überlegungen von Povel und Colquhoun (1982) auf, die vergleichbare Musterbildungen bei der verbalen Produktion von Ziffernfolgen beobachtet hatten. Die von Greeno und Simon (1974) eingeführte Grundidee besteht darin, dass Sequenzen in hierarchisch strukturierte, binäre Entscheidungsbäume übersetzt und durch das (Online-)Auslesen dieser Strukturen kontrolliert werden. Dementsprechend könnte das in Abb. 18.12A gezeigte Reaktionszeitmuster durch das Durchlaufen des in Abb. 18.12 skizzierten Entscheidungsbaumes zustande gekommen sein. Eine entsprechende Anwendung dieses Modells auf unser WORT-Beispiel findet sich in Abb. 18.11D.



**Abb. 18.12** **A** Latenzzeiten für die Initiierung des ersten bis achten Elements einer sequenziellen Handlung aus der Untersuchung von Rosenbaum et al. (1983). **B** Von Rosenbaum et al. vorgeschlagener Planungsstrukturbaum zur Erklärung des Latenzzeitmusters. (Aus Rosenbaum et al. 1983)

Auf den ersten Blick scheint das Konzept der hierarchischen Handlungsplanung nicht wesentlich über die Idee der Integration in Untereinheiten (s. unten) hinauszugehen – auch wenn die situationsspezifische Markierung durch abstrakte „Knoten“ in der Regel mehr semantisch als episodisch gedacht wird und auch wenn ohne die Einführung verschiedener Ebenen schwieriger zu erklären wäre, warum z. B. im Experiment von Rosenbaum et al. (1993) der Übergang  $z \rightarrow Z$  schneller realisiert werden kann als  $m \rightarrow Z$ . Allerdings räumt die explizite Unterscheidung von Sequenzelementen und einer ihre Abfolge steuernden syntaktischen Struktur einige sehr interessante Möglichkeiten ein (vgl. auch Dell et al. 1997; MacKay 1987). So fanden z. B. Ziefßler et al. (1988) fördernde Effekte von Vorinformation über die Struktur einer Handlung – ob sie etwa einen Finger oder Handwechsel an einer bestimmten Sequenzposition erforderte –, auch wenn die Bewegungselemente selbst noch unbekannt waren. Offenbar waren die Probanden also in der Lage, strukturelle Handlungsaspekte unabhängig von ihrem Inhalt vorzuplanen. Auch Semjen und Gottsdanker (1991) fanden Hinweise darauf, dass Übergänge zwischen kräftigen und weniger kräftigen Fingerbewegungen geplant werden konnten, noch bevor die Richtung der Übergänge (Erhöhung oder Verminderung der Kraft) feststand.

Diese Befunde erlauben die Vermutung, dass sich inhaltliche und syntaktische Eigenschaften einer Handlung unabhängig voneinander planen lassen. Das setzt voraus, dass die Repräsen-

tationen von Sequenzelementen und ihrer Abfolge unabhängig voneinander existieren. Natürlich kann es sein, dass syntaktische Information zum Abruf der Elemente einer Handlung verwendet wird, was vor allem bei sehr langen Sequenzen (z. B. beim Aufsagen der *Ilias*) wahrscheinlich sein dürfte. Aber prinzipiell scheint es möglich, dieselbe Sequenzinformation für die Steuerung von mehr als einer bestimmten Sequenz zu verwenden, was den Erwerb generalisierbarer Regeln erlaubt (z. B. beim Erwerb einer Sprache oder eines Verhaltenscodex). Mit anderen Worten, Repräsentationen der Reihenfolge von Handlungselementen können flexibel an solche Repräsentationen gebunden werden, die diese Elemente spezifizieren (Abb. 18.11E). Ob die mögliche Existenz generalisierender Regeln und syntaktischer Strukturen allerdings die Annahme hierarchischer Repräsentationsformate erzwingt, kann bezweifelt werden. Wie jüngere Simulationsstudien belegen, können hierarchisch beschreibbare Alltagshandlungen, z. B. das Zubereiten einer Tasse Kaffee, auch durchaus von Handlungsprogrammen erzeugt werden, die *heterarchisch* organisiert, d. h. mit einer „flachen“ Hierarchie ausgestattet sind (Botvinick und Plaut 2004; Kachergis et al. 2014).

### 18.3.3 Planung langer und geübter Handlungssequenzen

Die Befunde zur Planung von Handlungssequenzen belegen, dass vor der Initiierung einer Sequenz mehr als nur ihr Anfangsglied geplant werden kann. Je länger eine Handlungssequenz ist, desto unplausibler mutet jedoch die Idee an, wirklich alle Sequenzelemente würden von Beginn an bereitgestellt und in eine Art Arbeitsspeicher geladen. Wenn dem so wäre, und wenn diese Vorbereitung tatsächlich kontinuierlich mit Komplexität und Umfang der geplanten Handlung stiege, so wäre es in endlicher Zeit kaum möglich, den täglichen Weg zur Arbeit oder eine Urlaubsreise anzutreten oder mit dem Spielen einer Symphonie zu beginnen.

Tatsächlich haben bereits Klapp und Wyatt (1976) in einer Übersicht früherer Befunde beobachtet, dass schon bei der Planung kürzerer verbaler Handlungen die Reaktionszeit mit der Anzahl auszusprechender Silben zwar kontinuierlich, aber nicht linear zunimmt, dass also die Zunahme der Planungszeit pro Element bei längeren Sequenzen immer geringer wird. Auch bei Handbewegungssequenzen steigt die Planungszeit nur bis zum zweiten Element (Harrington und Haaland 1987), und Rosenbaum et al. (1987) fanden bei längeren, manuellen Sequenzen sogar eine Reduktion der absoluten Planungszeit mit zunehmender Komplexität. Eine Vielzahl weiterer Beobachtungen gehen in dieselbe Richtung (s. unten), was nahelegt, dass komplexere Handlungen begonnen werden (können), noch bevor ihre Planung vollständig abgeschlossen ist. Die Initiierung setzt den Abschluss der Planung also keineswegs voraus.

Das schließt die Vorausplanung späterer Sequenzelemente keineswegs aus. Vielmehr scheint sich die Planung nur zeitlich zu verschieben und statt vor der Initiierung einer Sequenz während ihrer Ausführung zu geschehen (Online- bzw. kaskadische Programmierung). Verschiedene Faktoren scheinen darüber zu entscheiden, ob bzw. welche Elemente einer Handlungssequenz

vor Bewegungsbeginn geplant werden und wann die Planung einen mehr kaskadenförmigen Verlauf nimmt (s. unten). Zusammengefasst kann angenommen werden, dass die Elemente einer Sequenz umso wahrscheinlicher vollständig vorbereitet werden, je kürzer und ungeübter die Sequenz ist, und je schneller die entsprechenden Bewegungen ausgeführt werden können und sollen. Zeitlich verteilte, mit der Ausführung überlappende Planung herrscht hingegen vor, wenn die Sequenz lang ist und/oder aus langsamen, zeitlich erstreckten Bewegungsabschnitten besteht, und wenn die handelnde Person geübt ist und nicht unter Zeitdruck steht.

### ■ Sequenzlänge

Die Tatsache, dass frühere Untersuchungen oft über recht lineare Zunahmen der Initiierungszeit für eine Sequenz mit der Anzahl ihrer Elemente berichten konnten (► Abschn. 18.3.1), hängt vermutlich damit zusammen, dass dort in der Regel relativ kurze Tastendruck- oder Sprechsequenzen studiert wurden. Erst die Einbeziehung auch längerer Sequenzen hat deutlich gemacht, dass es Grenzen der Handlungsvorbereitung gibt. Diese Grenzen sind in der Regel sehr eng; die Schätzungen variieren zwischen ein bis zwei Elementen bei geübten, langsamen (z. B. Harrington und Haaland 1987; Teulings et al. 1986) und bis zu sechs bei schnellen Bewegungen (z. B. Monsell 1986). Bei langen Sequenzen findet sich, wenn überhaupt, ein nur sehr geringer Anstieg der Initiierungszeit mit der Anzahl der Elemente (z. B. Garcia-Colera und Semjen 1988), zumindest bei Sequenzen mit mehr als zwei bis drei Elementen (Garcia-Colera und Semjen 1987; Rosenbaum et al. 1987).

Die geringen Effekte der Elementzahl bei längeren Sequenzen könnten zum einen damit zusammenhängen, dass derartige Sequenzen bessere Möglichkeiten zur Organisation der Elemente bieten. Bei der Planung längerer Tastendrucksequenzen beim Schreibmaschineschreiben steigt z. B. die Initiierungszeit nur dann linear mit der Elementzahl, wenn die Elemente willkürlich gruppiert sind, nicht aber, wenn die Abfolge systematische Wiederholungen enthält und so (mutmaßlich) die Bildung von Untereinheiten erlaubt (Kornbrot 1989). Auch die Beobachtung, dass beim Handschreiben die Initiierungszeit mehr von der Kongruenz zwischen den zu schreibenden Buchstaben und nicht zwischen den in ihnen enthaltenen Linien abhängt (Teulings et al. 1983), spricht für eine entscheidende Rolle der Organisation der Planungseinheiten. Es wäre daher möglich, dass der Anstieg der Initiierungszeit pro Element in den Fällen gering ist, in denen mehrere Elemente zu Untereinheiten (*chunks*) zusammengefasst werden, was wiederum den Planungsaufwand (d. h. die Zahl effektiver Elemente) vermindert. Alternativ dazu – oder in Verbindung damit – liegt es nahe, dass die Vorausplanung mit zunehmender Sequenzlänge derart langsam und fehleranfällig wird, dass Handelnde ab einer bestimmten Länge absichtlich von der Vorausplanung absehen und sich, falls vorhanden, eher auf durch Übung erworbene Assoziationen verlassen (s. unten).

### ■ Bewegungsdauer

Sehr enge Beziehungen zwischen Initiierungszeit und Sequenzlänge sind vor allem beim Tippen willkürlicher Tastenfolgen und beim Aussprechen willkürlicher Silbenfolgen festgestellt

worden (z. B. Klapp und Wyatt 1976; Monsell 1986; Sternberg et al. 1978). In beiden Fällen handelt es sich um sehr schnell ausführbare Handlungen, was zu der Systematizität der Befunde beigetragen zu haben scheint. Jedenfalls sind die Ergebnisse wesentlich weniger systematisch und die Sequenzlängenfunktionen weit weniger linear, wenn es um langsame Bewegungen geht, wie etwa manuelle Zielbewegungen (van Donkelaar und Franks 1991; Harrington und Haaland 1987; Sideaway 1994) oder Handschreiben (Teulings et al. 1986). Auch im Prinzip schnell ausführbare Bewegungsfolgen produzieren kaum nennenswerte Sequenzlängeneffekte, wenn sie nicht unter Zeitdruck ausgeführt werden (s. unten). Daher ist anzunehmen, dass Sequenzen vor allem dann vorausgeplant werden, wenn während der Ausführung eines Elements zu wenig Zeit zur Verfügung steht, um das Folgende zu planen, was bei langsamen Bewegungen nicht der Fall ist.

### ■ Übungsgrad

Es gibt eine Reihe von Hinweisen darauf, dass sich die Art und Weise der Handlungsplanung mit zunehmender Übung qualitativ verändert. Zum einen hat sich gezeigt, dass die Planungszeit von Sequenzen mit bekannten, hochgeübten Elementen nicht wesentlich durch die Sequenzlänge bestimmt wird. So findet sich z. B. beim Handschreiben ein deutlicher Längeneffekt für die Planung von sinnlosen Zeichen, nicht aber von Buchstaben (Hulstijn und van Galen 1983; Teulings et al. 1986), und die Kosten für die Reprogrammierung falsch vorbereiteter Buchstabensequenzen sind sehr gering (Stelmach et al. 1984). Zum anderen ließen sich durch Training auch zunächst systematische Längeneffekte bei der Planung arbiträrer Bewegungsfolgen drastisch reduzieren oder eliminieren (Fischman und Lim 1991; Klapp und Wyatt 1976; Verwey 1994).

Interessanterweise wirkt sich Training weit weniger auf die Ausführungsdauer des ersten als auf die der folgenden Elemente aus (Portier und van Galen 1992; Portier et al. 1990). Dies lässt auf eine übungsbedingte, zeitliche Verschiebung der Planung der nichtinitialen Elemente schließen: Während bei Übungsbeginn noch alle Elemente vor Bewegungsbeginn geplant werden, trifft dies später unter Umständen nur noch für das erste Element zu; die folgenden Elemente werden hingegen während der Ausführung des ersten Elements geplant (Garcia-Colera und Semjen 1988; Portier et al. 1990). Dies stimmt mit der Beobachtung überein, dass beim Erwerb des Schreibmaschineschreibens die einzelnen Fingerbewegungen durch Training immer mehr zeitlich überlappen (Gentner 1983).

Offenkundig verändert sich die Planung von Sequenzen mit der Übung und scheint sich zeitlich mehr zu verteilen. Wie dies im Detail geschieht, ist allerdings noch weitgehend ungeklärt. Eine naheliegende Frage ist in diesem Zusammenhang, in welchem Sinn eine geübte Handlungssequenz noch programmiert werden muss. Solange eine Sequenz neu und ungewohnt ist, sind eine Reihe von Problemen zu lösen, vor allem welche Elemente (das *Aktivierungsproblem*) in welcher Reihenfolge (das *Sequenzierungsproblem*) zur Ausführung gebracht werden. Sind diese Probleme jedoch einmal gelöst worden, würde es eigentlich reichen, diese Lösung beim nächsten Mal abzurufen, anstatt sie neu zu berechnen. In diesem Sinne haben Rosenbaum et al.



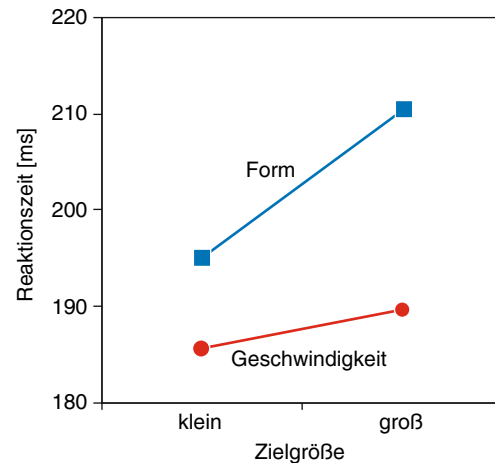
(1992a; Rosenbaum et al. 1995) argumentiert, dass übungsbedingte Veränderungen in der Handlungsplanung durch einen Übergang von der eigentlichen Programmierung einer Handlung zum Abruf eines mehr oder weniger fertigen Programms charakterisiert sind – eine Überlegung, die in ähnlichen Zusammenhängen u. a. auch von Lewin (1922) und Logan (1988) erwogen wurde. Das Resultat könnte in einer Kontrollstruktur bestehen, die sich aus verschiedenen Komponenten zusammensetzt, wie einer direkten (■ Abb. 18.11A) oder hierarchisch verschachtelten (■ Abb. 18.11D) Verkettung von Sequenzelementen, die gleichzeitig durch eine gemeinsame episodische Markierung (► Abschn. 18.3.2) sozusagen zusammengehalten werden. Mit anderen Worten, es wäre durchaus denkbar, dass die bislang vorgebrachten Mechanismen der Handlungsplanung keine sich ausschließenden Alternativen darstellen, sondern je nach Übungsgrad in unterschiedlicher Weise zusammenwirken, um die Handlungsplanung zu effektivieren.

### ■ Strategien

Neben Faktoren der Aufgabe und der Übung hängen die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß der Vorausplanung von Handlungsaspekten auch von den Intentionen der handelnden Person ab. Semjen und Garcia-Colera (1986) fanden z. B. die übliche Zunahme der Initiierungszeit von Fingertippsequenzen mit der Sequenzlänge nur dann, wenn die angestrebte Produktionsrate (d. h. die Ausführungsgeschwindigkeit) sehr hoch, nicht aber, wenn sie niedrig war. Ganz ähnlich bat Sideaway (1994) seine Probanden, bestimmte Zielobjekte mit einem in der Hand gehaltenen Stab zu treffen und dabei entweder eine kontinuierliche, geschmeidige Bewegung zu produzieren oder – in einer anderen Sitzung – die Bewegung möglichst schnell zu initiieren. Die *Forminstruktion* führte zu einem signifikanten Komplexitäts- bzw. Schwierigkeitseffekt, d. h., Bewegungen wurden später initiiert, wenn das zu treffende Objekt kleiner war (■ Abb. 18.13). Bei der *Geschwindigkeitsinstruktion* war dieser Effekt dagegen nicht zu beobachten, was nahelegt, dass die Probanden das Ausmaß der Vorausplanung intentional kontrollieren konnten. In Übereinstimmung damit beobachteten auch van Donkelaar und Franks (1991) Effekte der Sequenzlänge nur dann, wenn die Probanden gehalten waren, die Bewegungen so schnell wie möglich auszuführen.

## 18.4 Planung und Koordination multipler Handlungen

Die bisherigen Abschnitte befassten sich allesamt mit Handlungen, die unter – in gewisser Hinsicht – idealen Bedingungen ausgeführt werden konnten, d. h. unter übersichtlich gestalteten Reizbedingungen, zum Teil nach ausgiebiger Vorbereitung und vor allem ohne Konkurrenz durch andere Aktivitäten. Derart ideale Bedingungen erlauben zwar die systematische Analyse auch subtiler psychologischer Prozesse, aber sie entsprechen kaum den alltäglichen Bedingungen, unter denen Handelnde agieren. So werden Handlungen im Alltag selten isoliert ausgeführt, sondern sie überlappen mit anderen Tätigkeiten: Wir denken, während wir gehen, reden, während wir Auto fahren, telefonieren, wäh-



■ Abb. 18.13 Reaktionszeiten für Bewegungen zu großen und kleinen Zielobjekten in der Studie von Sideaway (1994). Unter der Instruktion, eine möglichst geschmeidige Bewegung auszuführen, hängt die Reaktionszeit von der Zielgröße ab. Unter der Instruktion, möglichst schnell zu reagieren, tritt dieser Effekt nicht auf

rend wir fernsehen, und vieles mehr. Damit stellt sich die Frage, ob bzw. inwiefern sich zeitlich überlappende Handlungen gegenseitig beeinträchtigen (z. B. mobil telefonieren während des Autofahrens) und wie solche Handlungskonglomerate gesteuert und koordiniert werden.

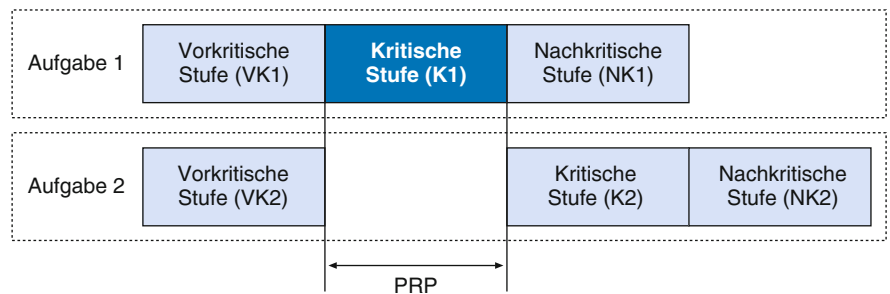
Zunächst einmal müssen wir fragen, ob Menschen überhaupt in der Lage sind, mehr als eine Handlung zur gleichen Zeit auszuführen. Diese Frage wirft eine Reihe weiterer, konzeptueller Fragen auf, vor allem was als *eine* Handlung und was als *gleichzeitig* zählt. Nehmen wir als Beispiel eine Person, die redet, während sie geht. Wenn man auch akzeptieren kann, dass sowohl Reden als auch Gehen intentionale Handlungen darstellen, so ist doch nicht selbstverständlich, dass die Kombination beider Handlungen als Zweifachhandlung zu gelten hat und nicht etwa als eine integrierte, wenn auch komplexe Handlung. Völlig auflösen lässt sich dieses Problem nur empirisch, nicht konzeptuell, denn prinzipiell ist ja beides möglich. In psychologischen Untersuchungen werden derartige Interpretationsprobleme in der Regel dahingehend vermieden, dass arbiträre, oft wechselnde Kombinationen einzelner Handlungen verwendet werden.

Das zweite allgemeine Problem – die Frage der Gleichzeitigkeit – ist noch schwieriger zu lösen. Auf einer abstrakten, grobkörnigen Analyseebene ist offensichtlich, dass Menschen in dem Sinne mehrere Dinge zugleich tun können, als eine zweite Handlung begonnen werden kann, noch bevor eine gerade andauernde beendet wird. Allerdings wäre es möglich, dass diese scheinbare Gleichzeitigkeit durch sehr schnelle Wechsel zwischen den Aufgaben nur auf der Performanzebene erreicht und in gewissem Sinne nur vorgetäuscht wird. Ein Beispiel dafür sind seriell arbeitende Computer, die das parallele Ablaufen von Anwendungen durch sehr schnelle Wechsel zwischen ihnen vorgaukeln. Wenn dieses Beispiel auch auf die Koordination menschlicher Handlungen zuträfe, sollte die gleichzeitige Ausführung messbare Kosten verursachen, die Leistung sollte also schlechter als bei separater Ausführung sein.

Tatsächlich lassen sich eine ganze Reihe von Leistungsver-schlechterungen unter Mehrfachaufgabenbedingungen nach-



**Abb. 18.14** Die Logik der Locus-of-Slack-Methode. Die Bearbeitungsstufen werden aufgeteilt in (prinzipiell beliebig viele) vorkritische Stufen – die dem hypothetischen Bearbeitungsengpass vorangehen –, kritische Stufen – die den Bearbeitungsengpass repräsentieren – und nachkritische Stufen – die dem Bearbeitungsengpass folgen. Parallele Verarbeitung ist mit Ausnahme der kritischen Stufen für alle Stufen möglich; bei Überlappung muss die zweite kritische Stufe auf den Abschluss der ersten warten. *PRP* = Psychologische Refraktärperiode



weisen. Wie bereits in ► Kap. 5 dargestellt, ist es schwer bis unmöglich, mehr als einen Ort gleichzeitig zu beachten bzw. mehr als einen Reiz zu einer Zeit für die weitere Verarbeitung auszuwählen. Mehrfachaufgaben beeinträchtigen aber auch die Selektion und Kontrolle motorischer Aktivitäten, um die es im vorliegenden Kapitel gehen soll. Dabei lassen sich *unspezifische* und *spezifische* Effekte unterscheiden.

### 18.4.1 Untersuchungsmethoden

Mehrfachhandlungen sind aus den unterschiedlichsten Gründen eingesetzt und untersucht worden – sowohl als *Untersuchungsgegenstand* als auch als *Untersuchungsmittel* (► Kap. 5). Im Zusammenhang mit motorischen Handlungen werden in der Regel zwei verschiedene Methoden angewandt. Bei der einen Methode führen Probanden eine bestimmte Aufgabe einmal in Isolation und einmal in Kombination mit einer anderen Aufgabe aus. Die Fragen können dann lauten, ob die Leistung in der kritischen Aufgabe gleich bleibt oder sich in der Kombinationsbedingung verschlechtert, ob dies vom Übungsgrad abhängt, ob die Art der Zweitaufgabe eine Rolle spielt oder ob die Beziehung zwischen beiden Aufgaben von Belang ist. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass mit dem Kontrast von Einzel- und Doppelbedingung eine Reihe von Variablen konfundiert sind. Denn im Vergleich zur Einzelbedingung müssen Probanden in Doppelbedingungen mehr instruktionsbezogene Information im Gedächtnis behalten, sich auf die Wahrnehmung von mehr Reizen und die Ausführung von mehr Reaktionen vorbereiten, und sie könnten sich z. B. mehr motiviert oder stärker überfordert fühlen, sodass eventuelle Leistungsdefizite schwer zu interpretieren sind. Allerdings bleibt die Möglichkeit, die Auswirkungen der Art verschiedener Zweitaufgaben auf die erste zu ermitteln.

Bei der anderen Methode werden in jedem Durchgang zwei Aufgaben bearbeitet, deren zeitliche Überlappung jedoch variiert. In der Regel werden die zwei erforderlichen Reaktionen (R1 und R2) durch zwei verschiedene Reize signalisiert (S1 und S2), wobei das Intervall zwischen der Darbietung von S1 und S2 (SOA, *stimulus onset asynchrony*) systematisch manipuliert wird. Wenn die SOA kurz ist, S1 und S2 also dicht hintereinander erscheinen, überlappen beide Aufgaben sehr stark und bilden so eine echte Doppelaufgabensituation. Wenn die SOA hingegen lang ist, sodass S2 unter Umständen sogar erst nach Ausführung von R1 erscheint, handelt es sich hingegen eher um eine Einzelaufgabensituation – wobei Gedächtnisbelastung, Motivation und Emotion aber konstant gehalten und daher nicht konfun-

diert sind! Die zentrale Frage lautet demnach, ob die Leistung in den Aufgaben, vor allem die in Aufgabe 2, von der zeitlichen Überlappung, also der SOA abhängt. Wenn dem so ist, so wird seit Telford (1931) häufig von einer **Psychologischen Refraktärperiode** (PRP) gesprochen.

Der Begriff der PRP drückt die Idee aus, das kognitive System wiese eine Art Flaschenhals auf, einen strukturellen **Engpass**, der zu einem Zeitpunkt nur die zu einer Aufgabe gehörigen Prozesse zulässt. Um diesen Engpass genauer im Bearbeitungsablauf lokalisieren zu können, wird häufig die Locus-of-Slack-(LOS-)Logik angewandt (Pashler und Johnston 1989; Schweickert 1978), einer speziellen Weiterentwicklung von Sternbergs (1969) additiver Faktorenmethode. Die Grundüberlegung ist in ► Abb. 18.14 skizziert. Für die Bearbeitung jeder Aufgabe sind eine Reihe von Bearbeitungsstufen erforderlich, die sich entweder vor dem Engpass (vorkritische Stufe/n VK1 und VK2) oder nach dem Engpass (nachkritische Stufe/n NK1 und NK2) befinden oder aber diesen Engpass darstellen (kritische Stufe/n K1 und K2). Während des Ablaufs von vor- oder nachkritischen Stufen einer Aufgabe können beliebige Stufen der anderen Aufgabe durchlaufen werden, nur die kritischen Stufen schließen sich gegenseitig aus, können also nicht gleichzeitig ablaufen. Wenn daher Aufgabe 1 K1 erreicht, kann K2 nicht ablaufen, d. h., es gibt eine Verzögerung, deren Dauer von K1 abhängt: die PRP.

Um nun den Typ und die Funktion von kritischen Stufen näher zu bestimmen, schlägt die LOS-Methode vor, die Dauer aller möglichen, hypothetischen Stufen systematisch zu variieren, und hält für die Ergebnisse recht diagnostische Vorhersagen bereit (Pashler 1994a; Pashler und Johnston 1989). Die ersten beiden der vier interessantesten Vorhersagen betreffen Manipulationen von Aufgabe 1:

1. Die Verlängerung sollte sowohl von VK1 als auch von K1 beide Aufgaben in gleichem Maße verzögern, denn damit werden Beginn und Ende von sowohl K1 als auch K2 gleichermaßen hinausgeschoben.
2. Die Verlängerung sollte sich von NK1 nur auf Aufgabe 1, nicht aber auf Aufgabe 2 auswirken, denn der Beginn von K2 hängt vom Ende von K1, nicht vom Ende von NK1 ab.

Zwei weitere Vorhersagen betreffen Aufgabe 2:

3. Die Verlängerung von VK2 sollte sich umso weniger auf Aufgabe 2 auswirken, je stärker die beiden Aufgaben überlappen. Wenn Aufgabe 2 ohnehin warten muss, bis K1 erledigt ist, sollte es keine Rolle spielen, ob Aufgabe 2 sozusagen völlig untätig ist oder noch an VK2 arbeitet; die Verlängerung von

- VK2 kann also durch effektivere Nutzung der durch K1 verursachten Totzeit zum Teil oder völlig kompensiert werden.
4. Verlängerungen von K2 und NK2 sollten schließlich zu einer Verzögerung von Aufgabe 2, nicht aber von Aufgabe 1 führen, denn Beginn und Ablauf von NK1 sollen ja vom Ablauf anderer Stufen unabhängig sein.

Diese LOS-Methode hat vielfach zur Untersuchung von PRP-Effekten Verwendung gefunden, und die vorliegenden Ergebnisse ergeben tatsächlich ein relativ eindeutiges Bild, das sowohl der Auswahl von Reaktionen als auch ihrer Initiierung einen ausgeprägten Engpasscharakter zuweist. Aber auch die Selektion, Encodierung und der Abruf von Information können zu einem Engpass führen. Andere Verarbeitungsstufen hingegen können zwar durchaus auch wechselseitig interferieren, aber sie blockieren sich nicht vollständig.

Sowohl die PRP-Aufgabe mit SOA-Variation als auch die klassische Methode des Einzel- versus Doppelaufgabenvergleichs werden in vielen Bereichen der Kognitionspsychologie eingesetzt, um z. B. den Aufmerksamkeitsbedarf von Reizverarbeitungsprozessen (► Kap. 5) oder beim Erwerb sequenzieller Strukturen (► Kap. 10) zu ermitteln, um Komponenten des Arbeitsgedächtnisses inhaltlich zu charakterisieren (► Kap. 12) und Interaktionen zwischen Wahrnehmung und Handlungsplanung zu diagnostizieren (► Kap. 22). Das Ziel dieses Kapitels besteht keineswegs darin, einen vollständigen oder auch nur repräsentativen Überblick über diese Literatur zu geben, sondern es konzentriert sich auf die spezifischen Kontrollprobleme, die bei der überlappenden Steuerung mehrerer Handlungen entstehen.

### 18.4.2 Aufgabenkoordination

Wenn mehr als eine Handlung zu einer Zeit ausgeführt wird, können eine ganze Reihe von recht spezifischen Interaktionen und Interferenzen zwischen den für die jeweiligen Handlungen zuständigen Prozesse entstehen, die in den folgenden Abschnitten angerissen werden. Darüber hinaus entstehen jedoch auch allgemeinere Anforderungen an die Handlungskontrolle, denn die betreffenden Handlungen wollen vorbereitet, koordiniert und ihrer Relevanz entsprechend gewichtet sein.

Ausgiebig untersucht worden ist die Frage, ob bzw. wie flexibel Handelnde ihre mentalen Ressourcen auf überlappende Handlungen verteilen können. Dabei werden Probanden gebeten, zwei Aufgaben auszuführen, und instruiert oder dafür belohnt, ihre Aufmerksamkeit in einem Verhältnis auf die beiden Aufgaben zu verteilen (z. B. 70:30, 50:50 oder 30:70). Derartige Manipulationen sind tatsächlich recht effektiv, d. h., die in den beiden Aufgaben ermittelte, relative Performanz spiegelt die jeweilige Instruktion oder Belohnungsstruktur gut wider (Übersicht bei Gopher und Sanders 1984; Wickens 1984). Dies ist dahingehend interpretiert worden, dass Menschen mentale Ressourcen strategisch allozieren. Einige Autoren gingen dabei von einer zum Teil variablen Menge mentaler Energie aus, die flexibel für verschiedenste kognitive Aktivitäten eingesetzt werden kann (Kahneman 1973; Navon und Gopher 1979). Spätere, weitergehende Ansätze haben verschiedene Arten von Ressour-

cen unterschieden, z. B. Aktivierung und Arousal (Sanders 1983), bzw. Klassifikationssysteme für Ressourcen vorgeschlagen, z. B. hinsichtlich der Reizmodalität (auditiv oder visuell), der internen Codierung (visuell oder verbal) und der Reaktionsmodalität (manuell oder verbal) (Wickens 1980; 1984). Vor allem der Ansatz von Wickens leistet gute Dienste, um die Schwierigkeit alltäglicher Aufgabenkombinationen abzuschätzen und mögliche Probleme am Arbeitsplatz vorherzusehen (z. B. Sarno und Wickens 1995; Wickens und Liu 1988).

Zum Verständnis der bei Mehrfachaufgaben eingesetzten Kontrollmechanismen haben Ressourcenmodelle allerdings kaum etwas beigetragen (Neumann 1987; Pashler 1994a; 1994b). In der Regel sind die vorgeschlagenen prozessspezifischen Annahmen zu vage, um konkrete Vorhersagen für experimentelle Analyse zu generieren. So bleibt offen, welche Prozesse von Manipulationen der Aufgabenwichtigkeit betroffen sind und wie ihre Effektivität durch die Erhöhung mentaler Energie gesteigert werden kann.

Eine interessante Beobachtung in Bezug auf die Kontrolle von Mehrfachaufgaben ist die, dass die Leistung für die jeweils priorisierte Aufgabe unter Doppelaufgabenbedingungen oft nur unwesentlich schlechter ist als unter Einzelaufgabenbedingungen (z. B. Fagot und Pashler 1992; Holender 1980). Zudem interagieren Effekte der Aufgabenkomplexität, d. h. des mutmaßlichen Kontrollaufwands, nicht mit der Belastung des Arbeitsgedächtnisses (Logan 1978; 1980). Diese Beobachtungen legen nahe, dass die Kontrolle von Mehrfachhandlungen entweder keine zusätzlichen kognitiven Kosten verursacht oder bereits vor Erscheinen des ersten Reizes erledigt wird. So wäre denkbar, dass bereits bei der Vorbereitung auf eine oder mehrere Aufgaben die Repräsentationen der möglichen Reize mit ihren entsprechenden Handlungsplänen assoziiert werden, sodass bei Erscheinen des Reizes die korrekte Handlung direkt und automatisch aufgerufen wird (Hommel 1998a; 2000a; 2000b; Logan 1980; 1988) – ähnlich wie bei Aufgaben zum prospektiven Gedächtnis zu beobachten (► Kap. 9). Die eigentliche Koordination verschiedener Aufgaben könnte damit durch die Implementation eines Aufgabensets vorweggenommen werden und müsste die tatsächliche Ausführung nicht mehr belasten. Für diese Annahme spricht die Beobachtung von paralleler, automatischer Reiz-Reaktions-Übersetzung in Doppelaufgaben.

### 18.4.3 Reizverarbeitung und Gedächtnis

Die meisten Handlungen beziehen sich in irgendeiner Weise auf Reizereignisse, sei es zu ihrer Initiierung, zur Kontrolle und Anpassung ihres Ablaufs oder zur Bewertung ihrer Ergebnisse. Demzufolge müssen bei der Ausführung von mehr als einer Handlung auch mehr Reizereignisse verarbeitet werden, z. B. die Verkehrssituation und die Reaktionen des Kommunikationspartners beim Auto fahrenden Handybenutzer. Dies kann in vielen Fällen die Leistung verschlechtern. So ist aus Untersuchungen zur Aufmerksamkeit bekannt, dass z. B. die Anwesenheit irrelevanter visueller Reize (Distraktoren) die Entdeckung und Identifikation eines gesuchten Reizes erheblich verzögert (z. B. Eriksen und Eriksen 1974; Treisman und Gelade 1980; Wolfe et al. 1989; Yantis 2000; ► Kap. 5).

Distraktoren lenken nicht nur die Aufmerksamkeit ab, sondern können unter bestimmten Umständen mit ihnen assoziierte Handlungen aktivieren, die mit der eigentlich auszuführenden Handlung konfliktieren (Coles et al. 1985; Eriksen et al. 1985; St. James 1990). Dies lässt Wechselwirkungen zwischen Aufgaben insbesondere unter Umständen erwarten, in denen die zu einer Handlung gehörigen Reize Signalcharakter für andere, zeitgleich auszuführende Handlungen haben. Dieses Muster ist tatsächlich beobachtet worden. In der Studie von Navon und Miller (1987) suchten Versuchspersonen z. B. in diagonal präsentierten Wortpaaren sowohl nach Vornamen als auch (in der jeweils anderen Diagonale) nach Städtenamen. Wenn Distraktoren in der einen Aufgabe Zielreizen für die andere Aufgabe entsprachen oder semantisch ähnlich waren (also z. B. ein Städtenamen in der Vornamen-Diagonalen), waren die Reaktionszeiten verzögert. In einer Untersuchung von Hirst und Kalmar (1987) hörten Probanden gleichzeitig je zwei Sequenzen gesprochener Wörter, Buchstaben oder Zahlen, die hinsichtlich bestimmter Kriterien zu überprüfen waren. Die Darbietung erfolgte über einen Kopfhörer, sodass die beiden Ohren verschiedene Sequenzen hörten. Die Leistung war am schlechtesten, wenn das Material in beiden Sequenzen dasselbe war, d. h., wenn die Reize des einen Lautstromes auch zur jeweils „gegenüberliegenden“ Aufgabe passten. Ähnliche Interaktionen zeigten sich auch in den Untersuchungen von Eriksen et al. (1986) und von Dutta et al. (1995).

Neben einer Mehr- und unter Umständen Überbelastung der Aufmerksamkeit können sich Mehrfachaufgaben auch auf die weitere Reizverarbeitung auswirken. Jolicoeur und Dell'Aqua (1998) baten z. B. Versuchspersonen in Aufgabe 1, kurzzeitig dargebotene Buchstaben zu registrieren und später ohne Zeitdruck zu berichten, und in Aufgabe 2, eine binäre Wahlreaktion auf Töne auszuführen. Abb. 18.15 zeigt die Ergebnisse in der sekundären Reaktionszeitaufgabe in Abhängigkeit von der SOA (dem Buchstaben-Ton-Intervall) und der Anzahl dargebotener Buchstaben sowie die Ergebnisse einer Kontrollbedingung, in der Aufgabe 1 nicht ausgeführt wurde („ignorieren“). Es ist leicht zu sehen, dass die Reaktionszeiten umso mehr anstiegen, je stärker die beiden Aufgaben zeitlich überlappten, und je mehr Buchstaben zu berichten waren. Der LOS-Logik zufolge sind also bereits das Registrieren und kurzzeitige Behalten sehr einfacher Reize mit einem Verarbeitungsengpass (kritische Stufe) verbunden, der die parallele Auswahl der zur Zweitaufgabe gehörigen Reaktion verhindert. Jolicoeur et al. (2002) haben eine Reihe weiterer Experimente durchgeführt, die diese Schlussfolgerung bestätigen. So leidet z. B. die Leistung beim Bericht dargebotener Buchstaben in der Zweitaufgabe unter einer gleichzeitig erforderlichen Reaktionsauswahl in der Erstaufgabe (Jolicoeur et al. 2000).

Neben der Einspeicherung von Information in das Kurzzeitgedächtnis scheint auch der Abruf von Information einen effektiven Verarbeitungsengpass darzustellen. Jolicoeur (1999) kombinierte z. B. eine Wahlreaktionsaufgabe (Tastendruck auf einen Ton) mit einer Gedächtnisaufgabe, in der Probanden beurteilten, ob ein dargebotener Reiz in einem vor dem Durchgang gezeigten, memorierten Reizset enthalten ist oder nicht. Ein typisches Ergebnis derartiger Aufgaben besteht darin, dass die Reaktionszeit mit zunehmender Größe des Reizsets ansteigt (Setgrößeneffekt). Wenn die Tonaufgabe als Erst- und die Gedäch-

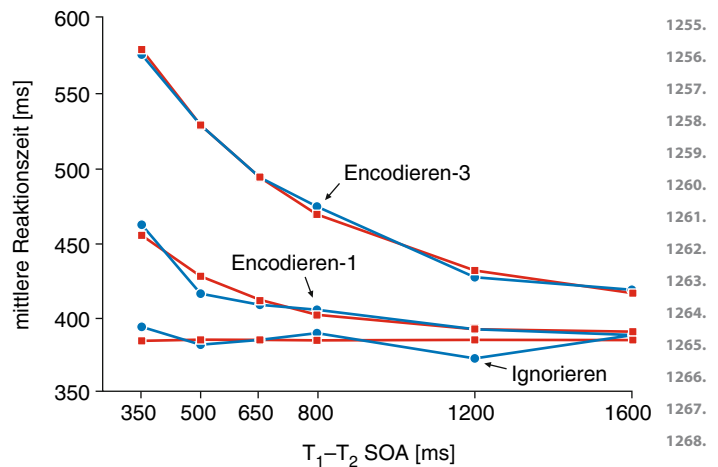


Abb. 18.15 Reaktionszeiten für Aufgabe 2 aus der Untersuchung von Jolicoeur und Dell'Aqua (1998) als Funktion der zeitlichen Überlappung mit Aufgabe 1 (SOA) und der Art der Aufgabe 1. Wenn der zuerst dargebotene Reiz nicht behalten werden muss („ignorieren“), ist die Leistung in der Zweitaufgabe nicht von der SOA und der Anzahl der dargebotenen Buchstaben abhängig. Muss er jedoch behalten werden („encodieren“), steigt die Reaktionszeit mit dem Ausmaß der Überlappung und der Anzahl der zu behaltenden Buchstaben an. (Aus Jolicoeur et al. 2000)

nissuchaufgabe als Zweitaufgabe ausgeführt wurden, war das Ausmaß des Setgrößeneffekts unabhängig von der SOA. Nach der LOS-Logik (Vorhersage 3; s. oben) bedeutet dies, dass die Gedächtnissuche eine kritische Stufe darstellt, die nicht vor der Reaktionsselektion in Aufgabe 1 beginnen kann. Entsprechend war bei einem Tausch der Aufgaben die Wahlreaktion umso stärker verzögert, je größer das Gedächtnisset in Aufgabe 1 war (Vorhersage 1; s. oben).

Nicht nur der Abruf von Information aus dem Kurzzeitgedächtnis stellt einen Engpass dar, auch der Abruf aus dem Langzeitgedächtnis. Carrier und Pashler (1995) ließen z. B. Probanden Wortpaare lernen und unterzogen sie dann einer **Doppelaufgabe**. Die erste Aufgabe erforderte wieder eine Wahlreaktion auf einen Ton, in der zweiten wurde jeweils ein Wortpaarling dargeboten, und die Probanden sollten das assoziierte Wort produzieren. Die Schwierigkeit des Gedächtnisabrufs wurde dadurch variiert, dass manche Wortpaare zuvor besser gelernt (d. h. öfter wiederholt) wurden als andere. Falls der Gedächtnisabruf eine un- bzw. vorkritische Verarbeitungsstufe darstellt, sollte sich die Schwierigkeit bei starker zeitlicher Überlappung der Aufgaben weniger deutlich zeigen, entsprechend der Vorhersage 3 der LOS-Methode. Dies war aber nicht der Fall, d. h., der Schwierigkeitseffekt war bei kurzer SOA so groß wie bei langer. Auch der Abruf von Information aus dem Langzeitgedächtnis repräsentiert also einen Verarbeitungsengpass. Allerdings scheint der Abruf von Reizinformation nur den gleichzeitigen Zugriff auf reaktions- oder reizbezogene Information einer anderen Kategorie zu verwehren, während auf Informationen derselben Kategorie gleichzeitig zugegriffen werden kann (Logan und Schulkind 2000; Rohrer et al. 1998).

Gedächtniseinspeicherung oder -abruf stellen also zumindest in einigen Fällen einen hartnäckigen Verarbeitungsengpass bei der parallelen Aufgabenbewältigung dar. Wie im folgenden Abschnitt erörtert, gilt dies allerdings nicht für jede Art von Abruf;



Reiz-Reaktions-Regeln können z. B. durchaus parallel abgerufen werden. Eine mögliche Erklärung dieser Widersprüche ist von Jolicoeur et al. (2002) vorgeschlagen worden. So ist denkbar, dass impliziter (d. h. nicht bewusst bzw. intentional gesteuerter) Zugang zu und Gebrauch von Gedächtnisinhalten parallel erfolgen kann und keinen Engpass darstellt, während expliziter Zugriff sehr wohl die Kriterien eines Engpasses erfüllt.

#### 18.4.4 Reiz-Reaktions-Übersetzung und Reaktionsauswahl

Schon zu Beginn der systematischen Untersuchungen zu Mehrfachhandlungen wurde vermutet, dass die Auswahl von Reaktionen einen strukturellen Engpass (*bottleneck*) darstellt, und seit Welford (1952) dominieren Response-Selection-Bottleneck-(RSB-)Modelle die PRP-Forschung (McCann und Johnston 1992; Pashler 1994a; 1998; Pashler und Johnston 1989). Zu einem gewissen Teil resultiert dies sicher aus einem Mangel an Alternativen, denn Hinweise auf reiz- und gedächtnisbezogene Effekte (► Abschn. 18.4.3) haben sich erst kürzlich ergeben. Darüber hinaus sind die Indizien für Engpässe bei der Initiierung von Reaktionen (► Abschn. 18.4.5) noch zu schwach, um damit alle vorhandenen PRP-Effekte zu erklären. Aber auch positive Unterstützung (vor allem im Sinne der LOS-Methode) hat das RSB-Modell erhalten.

Entsprechend der ersten Vorhersage des LOS-Ansatzes verlängern Manipulationen, die sich auf die Reaktionsauswahl in Aufgabe 1 auswirken, die Reaktionszeiten sowohl in Aufgabe 1 als auch in Aufgabe 2; ein Beispiel ist die Erhöhung der Zahl der Reaktionsalternativen (Karlin und Kerstenbaum 1968; Smith 1969). Entsprechend der Vorhersage 2 verlängern Manipulationen, die sich auf Stufen nach der Reaktionsauswahl in Aufgabe 1 auswirken, Aufgabe 2 nur unwesentlich; ein Beispiel ist die Erhöhung der Komplexität der in Aufgabe 1 geforderten Bewegung (Pashler und Christian 1996). Entsprechend der Vorhersage 3 verringern sich die Effekte von Manipulationen perceptueller Prozesse in Aufgabe 2 bei kleiner SOA; ein Beispiel ist die Verringerung der Reizintensität (Pashler und Johnston 1989; ► Abb. 18.16). Entsprechend der Vorhersage 4 schließlich hat Erschwerung der Reaktionsauswahl in Aufgabe 2 keine Auswirkungen auf Aufgabe 1; ein Beispiel ist die Verringerung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität (McCann und Johnston 1992).

Zusammengefasst spricht also einiges für die Annahme eines Verarbeitungseinganges bezüglich der Auswahl von Reaktionen. Uneinigkeit bzw. Unklarheit gibt es jedoch hinsichtlich der Fragen, wie der Engpass funktionell zu beschreiben und ob er struktureller oder strategischer Natur ist. Die erste Frage hat mit einer terminologischen, zum Teil aber auch konzeptuellen Schwäche bisheriger RSB-Modelle zu tun. Schon bei der Darstellung solcher Modelle fällt auf, dass die Begriffe der **Reiz-Reaktions-Übersetzung** (*stimulus-response translation*) und Reaktionsauswahl (*response selection*) synonym gebraucht werden. Dahinter steht die in Stufenmodellen der Informationsverarbeitung verbreitete, in der Regel aber nicht explizierte Idee, dass eine Reaktion ausgewählt wird, indem Reizinformation nach einer bestimmten Regel in die entsprechende Reaktion übersetzt wird.

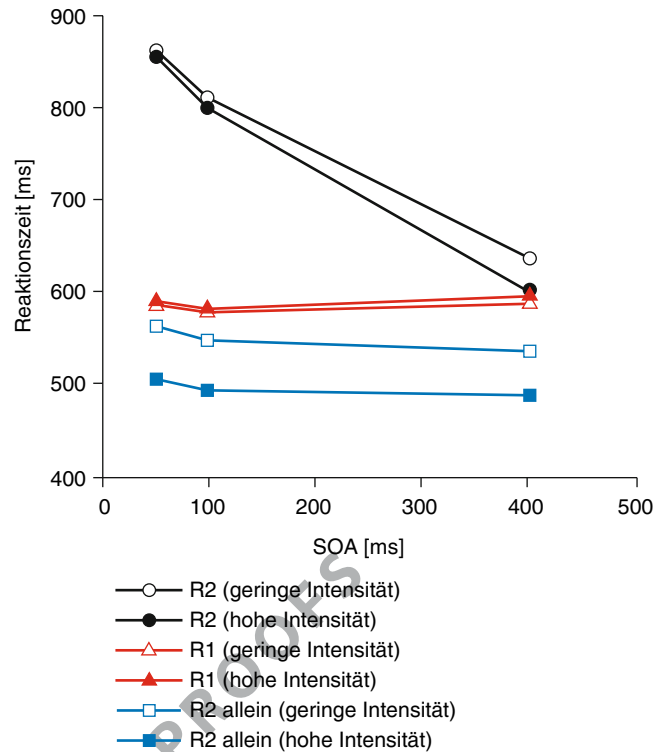


Abb. 18.16 Reaktionszeiten für die erste (R1) und zweite (R2) Reaktion eines Doppelaufgabenexperiments von Pashler und Johnston (1989), in Abhängigkeit von der zeitlichen Aufgabenüberlappung (SOA) und der Intensität (hoch, gering) des auditiven Reizes in der zweiten Aufgabe. Ebenfalls gezeigt sind die Ergebnisse für die in Isolation ausgeführte Zweitaufgabe („allein“). Das Ergebnismuster ist insofern typisch als (1) die Doppelaufgabensituation an sich die Reaktionszeit in der Zweitaufgabe unabhängig von der zeitlichen Überlappung erhöht ( $R2 > R2$  allein); (2) die Leistung in der Zweitaufgabe systematisch mit zunehmender zeitlicher Überlappung abnimmt (SOA-Effekt auf R2); (3) die Leistung in der Erstaufgabe nicht von zeitlicher Überlappung abhängt (kein SOA-Effekt auf R1); und (4) der Effekt der Reizschwierigkeit mit zunehmender zeitlicher Überlappung abnimmt (unteradditiver Interaktion: Hoch-gering-Effekt umso kleiner, je größer die SOA)

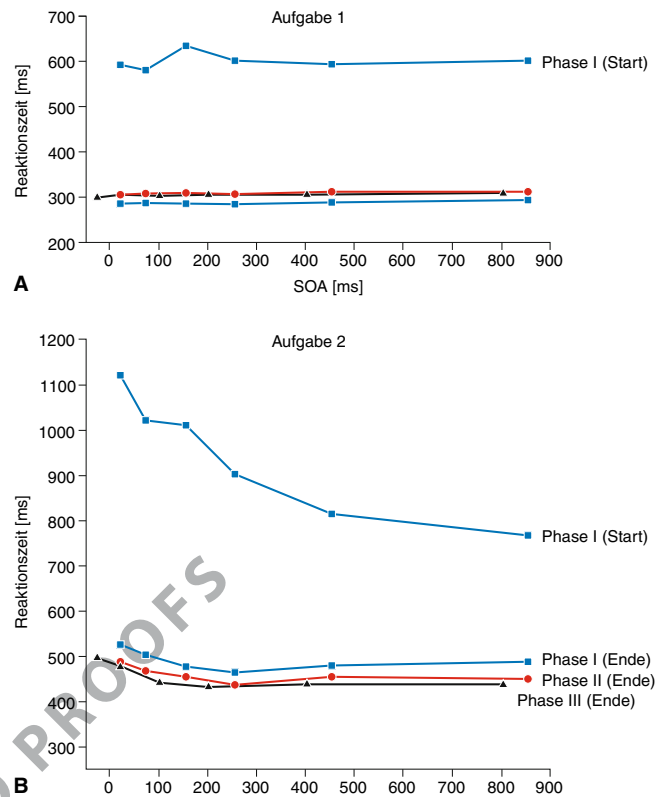
Der PRP-Effekt ginge also auf die Unfähigkeit zurück, zwei Reize gleichzeitig in die entsprechenden Reaktionen zu übersetzen. Ein derartiger Engpass lässt sich jedoch aufgrund einiger, jüngerer Beobachtungen ausschließen. So fand Hommel (1998a), dass die erste von zwei Aufgaben schneller ausgeführt werden kann, wenn die zweite Reaktion mit dem Reiz oder der Reaktion der ersten Aufgabe kompatibel ist. Zum Beispiel wurde ein linker Tastendruck in der ersten Aufgabe schneller ausgeführt, wenn die zweite Aufgabe die verbale Reaktion „links“ statt „rechts“ forderte. Auch Logan und Schulkind (2000) berichten, dass die Reaktion der ersten Aufgabe schneller erfolgt, wenn sie mit der zweiten übereinstimmt. Diese Ergebnisse belegen, dass der für die zweite Reaktion relevante Reiz in die entsprechende zweite Reaktion übersetzt wird, noch bevor die Auswahl der ersten Reaktion abgeschlossen ist. Die Reiz-Reaktions-Übersetzung kann also keinen wirklichen und sicher keinen strukturellen Engpass darstellen. Dafür spricht auch die Beobachtung, dass das Ausmaß der Interaktion zwischen den Reaktionen der beiden Aufgaben vom Aufgabenkontext abhängt (Fischer und Hommel 2012), was auf einen Einschluss der Aufgabenstrategie schließen lässt (s. unten). Allerdings ist es dennoch möglich, dass die eigentliche



Reaktionsauswahl zu einem Engpass wird. Wenn nämlich die für mehrere Handlungen relevanten Reize tatsächlich parallel übersetzt werden und entsprechende Handlungsinformation aktivieren, dann könnte eine Art Zuordnungsproblem entstehen, dessen Lösung – die Integration von zusammengehörigen Handlungsmerkmalen (► Abschn. 18.2.6) – zeitaufwendig ist. Die Auswahl einer Handlung bestünde demnach aus zwei Phasen: der Übersetzung von Reizinformation in Codes von Reaktionsmerkmalen und der Integration dieser Merkmale in einen kohärenten Handlungsplan (Stoet und Hommel 1999), und nur die zweite Phase wäre ein wirklicher Engpass (Hommel 1998a; Netick und Klapp 1994).

Die zweite Frage, über die noch Uneinigkeit besteht, betrifft die Hartnäckigkeit des RSB-Modells. Während der klassische RSB-Ansatz von einem strukturellen, also unveränderbaren Engpass ausgeht (z. B. Welford 1952; Pashler und Johnston 1989; Pashler 1998), vertreten Meyer und Kollegen (Meyer und Kieras 1997a; 1997b; Meyer et al. 1995) die Auffassung, es handle sich um einen nur strategischen, also intentional implementierten, prinzipiell aber aufhebbaren Engpass. Das Dilemma der Probanden einer typischen Doppelaufgabe besteht nach Meyer und Mitarbeitern darin, dass diese instruiert sind, die Aufgaben in einer bestimmten Reihenfolge auszuführen und dass sie in der Regel relativ ungeübt sind. Dies legt nahe, dass PRP-Effekte eliminiert werden können, wenn man die Reihenfolge der Reaktionen freistellt und Probanden ausreichende Übung verschafft. Während frühere Übungsstudien (Karlin und Kestenbaum 1968; Van Selst und Jolicoeur 1997) nur geringe Reduktionen des PRP-Effekts fanden, konnten Van Selst et al. (1999) ihn nahezu eliminieren (■ Abb. 18.17). Ein wesentlicher Grund für den im Vergleich zu anderen Studien größeren Erfolg hängt höchstwahrscheinlich mit den verwendeten Effektoren zusammen. Während nämlich Van Selst et al. (1999) in den beiden Aufgaben verschiedene Effektoren (verbale Reaktion in Aufgabe 1, manuelle in Aufgabe 2) verwenden ließen, kamen in den vorangegangenen Studien dieselben Arten von Effektoren zum Einsatz (manuelle Reaktionen in beiden Aufgaben) – eine Bedingung, die möglicherweise Interaktionen zwischen den Reaktionen begünstigt und einen zusätzlichen Engpass bei der Reaktionsinitiierung erzeugt (De Jong 1993; ► Abschn. 18.4.5). Tatsächlich berichten Ruthruff et al. (2001) in einer Nachfolgeuntersuchung weit geringere Übungseffekte bei Verwendung derselben Reaktionsmodi für beide Aufgaben. Auch die Einführung von Belohnungen hatte keine großen Übungsgewinne zur Folge (Ruthruff et al. 2009).

Die bei Weitem wirksamste Methode, den Verarbeitungseingpass bei Mehrfachaufgaben zu reduzieren, besteht darin, Reiz-Reaktions-Paarungen von größter, idealerweise „ideomotorischer“ Kompatibilität zu wählen, d. h. Paarungen, bei denen Reize und Reaktionen so viele Merkmale wie möglich teilen. Mithilfe derartiger Paarungen ist es einigen Autoren gelungen, die Verarbeitungsverluste bei Doppelaufgaben dramatisch zu reduzieren und in einigen Fällen sogar zu eliminieren (z. B. Greenwald 1972; 2003). Dies setzt aber besonders günstige Bedingungen voraus (Greenwald 2004) und belegt nicht notwendigerweise die vollständige Eliminierung des Engpasses (Ruthruff et al. 2001). Umgekehrt müssen aber auch Nachteile verbleibender Verarbeitungskosten von Mehrfachaufgaben nicht notwendigerweise



■ **Abb. 18.17** Reaktionszeiten für Aufgabe 1 (A) und Aufgabe 2 (B) aus einem Übungsexperiment von Van Selst et al. (1999). Die drei Phasen beziehen sich auf den Messzeitpunkt, d. h. das Ausmaß der Übung. In Aufgabe 1 sind die Leistungen zu Beginn (Phase I, Start) relativ schlecht, pendeln sich aber schnell auf ein sehr gutes Niveau ein. Zudem sind sie unabhängig von der zeitlichen Überlappung der Aufgaben (SOA). Auch in Aufgabe 2 sind die Leistungen zunächst sehr schlecht und leiden zusätzlich sehr stark unter zeitlicher Überlappung. Am Ende der Übung ist zwar noch ein kleiner SOA-Effekt zu beobachten, aber seine Größe ist deutlich reduziert

auf einen strukturellen Engpass hinweisen: Sie könnten dadurch entstehen, dass Versuchspersonen manchmal versuchen, die Reihenfolge ihrer Reaktionen strategisch zu kontrollieren. In jedem Fall können wir festhalten, dass Verarbeitungskosten bei Doppelaufgabentätigkeiten umso geringer ausfallen, je besser Reize und Reaktionen zueinanderpassen, und je häufiger die betreffende Aufgabenkombination geübt worden ist.

### 18.4.5 Reaktionsinitiierung

Verschiedene Autoren haben vermutet, dass Mehrfachaufgaben neben Selektionskonflikten und Ausführungsproblemen auch Probleme bei der Implementierung bzw. Initiierung der betreffenden Handlungen (► Abschn. 18.2.8) aufwerfen. Logan und Burkell (1986) verwendeten z. B. eine Aufgabenvariante, in der Probanden während der Vorbereitung oder Ausführung der ersten von zwei überlappenden Reaktionen durch ein Stoppsignal aufgefordert wurden, stattdessen eine andere oder gar keine Reaktion auszuführen. Die jeweils zweite überlappende Reaktion war vor allem dann verzögert, wenn die eigentlich erforderliche Unterdrückung der ersten Reaktion nicht mehr gelang. Dies legt nahe, dass nicht allein die Planung, sondern auch die Initiierung

einer Reaktion die Ausführung anderer Reaktionen erschwert. Auch De Jong (1993) beobachtete, dass die tatsächliche Initiierung einer Reaktion die Ausführung einer anderen Reaktion stärker stört als die bloße Planung. Diese Befunde sind konsistent mit Ergebnissen von Ivry et al. (1998), die die Doppelaufgabenperformance des Patienten J. W. nach einer Commissurotomie (Durchtrennung des die beiden Hirnhemisphären verbindenden Corpus callosum) mit denen von gesunden Probanden verglichen. Die Reize für zwei überlappende Aufgaben wurden in verschiedenen visuellen Halbfeldern dargeboten, um so J. W. eine separate Bearbeitung der Aufgaben in den isolierten Hemisphären zu ermöglichen. Wie die Kontrollgruppe zeigte zwar auch J. W. schlechtere Leistungen bei großer zeitlicher Überlappung der Aufgaben, aber sein Leistungsprofil wies einige Besonderheiten auf. So hingen seine Reaktionen nicht von der Effekmodalität in der jeweils anderen Aufgabe ab, während Kontrollpersonen bei gleicher Modalität (manuell-manuell) größere Probleme hatten als bei verschiedenen Modalitäten (manuell-verbal). Auch die Konsistenz der Regeln für die Reiz-Reaktions-Zuordnung in den beiden Aufgaben spielte für J. W. eine geringere Rolle als für die Kontrollgruppe, vermutlich weil bei ihm die eigentliche Handlungsplanung für beide Aufgaben getrennt in verschiedenen Hemisphären stattfand. Das heißt, J. W.s Doppelaufgabenkosten können nicht auf Interferenzen während oder vor der Handlungsplanung zurückgehen, sondern müssen von einem nachfolgenden Prozess verursacht worden sein.


## 18.5 Wechseln zwischen Handlungen

Das erfolgreiche Management eines Haushalts oder eines Betriebs verlangt nicht nur Multitasking-Fähigkeiten (z.B. während des Kochens auch noch ein Kind beaufsichtigen), sondern auch das häufige Umschalten zwischen verschiedenen Tätigkeiten: zwischen lesen und reden, kochen und bügeln, Rad fahren und einkaufen usw. Wie regelt unser kognitives System derartige Umschaltprozesse, welche Probleme werfen sie auf, und wie sind solche Probleme zu vermeiden? Dieser Art der Handlungskontrolle wenden wir uns im Folgenden zu.

Die zur Kontrolle des **Aufgabenwechsels** erforderlichen kognitiven Prozesse haben in den letzten Jahren zunehmend Aufmerksamkeit auf sich gezogen (Kiesel et al. 2010; Kluwe 1997; Monsell 2003; Monsell und Driver 2000), wofür wenigstens drei Gründe verantwortlich sein dürften.

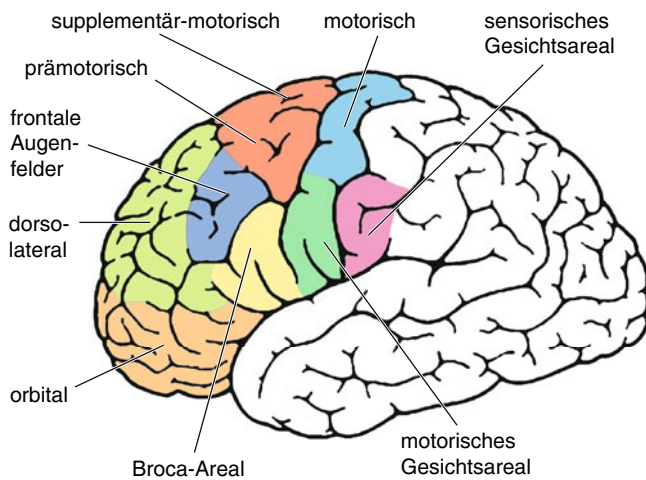
1. Es handelt sich dabei um Prozesse, die nicht direkt mit basalen Aufgaben der Informationsverarbeitung zu tun haben – wie der Verarbeitung und Speicherung von Reizen oder der Auswahl und Ausführung von Reaktionen; vielmehr sorgen sie dafür, dass derartige Prozesse in einer zielführenden Weise interagieren (**exekutive Funktionen**). Mehr noch als basale Prozesse dienen sie also der eigentlichen Kontrolle kognitiver Aktivitäten und damit des menschlichen Handelns im weiteren Sinne und repräsentieren das, was Menschen wollen und anstreben, was ihr Studium natürlich besonders interessant macht.
2. Es stehen nunmehr experimentelle und analytische Methoden zur Verfügung stehen, die eine systematische Analyse der

relativ komplexen Kontrollprozesse erlauben. Die zugrunde liegenden Techniken selbst sind durchaus schon länger bekannt, wie das bereits zu Beginn des vorigen Jahrhunderts entwickelte Aufgabenwechselfparadigma (Jersild 1927; Zillig 1926). Aber erst in den letzten Jahren sind die methodischen Details und die Analysetechniken hinreichend verfeinert, validiert und einflussreich propagiert worden (z.B. Allport et al. 1994; Pashler 1994a).

3. Das Interesse von Kognitionspsychologen an der neuronalen Basis kognitiver Funktionen hat zugenommen. Während die Kartierung und das Verständnis der Funktionsweise z.B. des visuellen Cortex schon relativ weit fortgeschritten sind, haben sich die Gehirnwissenschaften in letzter Zeit vor allem solchen corticalen Regionen zugewandt, von denen wesentliche Beiträge zur Planung und Steuerung von Handlungen zu erwarten sind: dem präfrontalen und frontalen Cortex (z.B. Passingham 1993; Rabbitt 1997; Roberts et al. 1998;  Abb. 18.18).

Mit dem zunehmenden Verständnis der Rolle dieser Regionen bei der gelingenden Kontrolle von Handlungen bei Gesunden und dem spezifischen Scheitern der Handlungskontrolle bei Patienten mit entsprechenden Hirnläsionen rücken bestimmte, kognitionspsychologische Fragen in den Vordergrund: Lassen sich z.B. bestimmte Hirnregionen bestimmten Funktionen bei der Handlungskontrolle eindeutig zuordnen und, wenn ja, welche psychologischen Aufgaben, Effekte oder Tests sind geeignet, corticale Defizite zu diagnostizieren (Rabbitt 1997)? Sicher ist es noch zu früh, diese Fragen eindeutig zu beantworten. Aber auch derartige Antworten können umso eher gefunden werden, je besser die kognitiven Mechanismen der Handlungskontrolle verstanden sind.

Wie in ► Kap. 1 und ► Abschn. 18.2.9 beschrieben, führt die Ausbildung oder Übernahme eines Handlungszieles zu einer zielorientierten Ausrichtung des kognitiven Systems, d.h., Wahrnehmungs- und Handlungsprozesse werden so organisiert, dass motorische Prozesse im Sinne des Zieles verlaufen und die dafür wesentliche sensorische Information erhalten (Ach 1910; Kluwe 1997; Monsell 1996). Einerseits ist es möglich, aufgrund von Verlaufsmerkmalen und Charakteristika der entstehenden Handlungen auf die Mechanismen zu schließen, denen sie ihre Entstehung verdanken, z.B. Antizipationseffekte bei Handlungssequenzen. Die Planung einzelner zielgerichteter Bewegungen oder Bewegungsfolgen lassen sich so gut analysieren. Andererseits entgeht solchen Analysen, was zu Beginn einer Aufgabe stattfindet, wie z.B. Handlungen in einem bestimmten Aufgabenkontext vorbereitet und eingeplant werden. Tatsächlich gibt es Hinweise darauf, dass einige der interessierenden Planungsprozesse möglicherweise schon vor Wahrnehmung des ersten Reizes und der entsprechenden Handlung abgeschlossen werden (► Abschn. 18.4.2). Damit aber fallen sie nicht in den untersuchten Zeitraum, der sich ja in den meisten psychologischen Experimenten auf die Zeit zwischen Reizen und Reaktionen beschränkt. Um auch diese Prozesse analysieren zu können, sind experimentelle Paradigmen entwickelt worden, die einen Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben erfordern (► Abschn. 18.5.1) und damit den Zeitraum zwischen der Instruktion für eine neue Aufgabe und



**Abb. 18.18** Funktionskarte des Frontallappens im menschlichen Gehirn. (Aus Kolb und Whishaw 1990)

deren erstmaliger Ausführung in die Analyse einbeziehen. Tatsächlich lässt sich zeigen, dass ein Aufgabenwechsel nicht nur die allgemeine Leistung verschlechtert (► Abschn. 18.4.2), sondern sehr spezifische kognitive Kosten verursacht (► Abschn. 18.5.3 und 18.5.4), die wichtige Schlussfolgerungen bezüglich der für die Kontrolle und Koordination von Aufgaben verantwortlichen Mechanismen erlauben (► Abschn. 18.5.5).

### 18.5.1 Untersuchungsmethoden

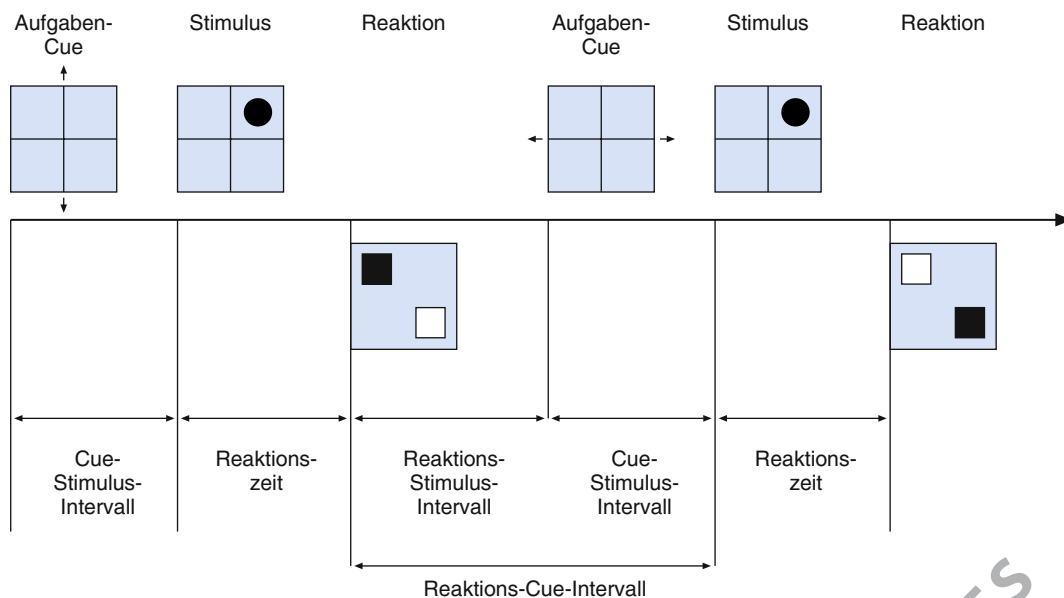
Das Prinzip einer Wechselaufgabe besteht darin, die Leistungen von Probanden unter zwei Bedingungen zu vergleichen: einer, in der die vorangegangene Aufgabe dieselbe war (eine Aufgabenwiederholung), und einer, in der die vorangegangene Aufgabe eine andere war (ein Aufgabenwechsel). Zunächst liegt nahe, dies im Rahmen verschiedener Aufgabenblöcke zu tun, d. h. Probanden einmal dieselbe(n) Aufgabe(n) wieder und wieder ausführen zu lassen und ein anderes Mal dauernd zwischen zwei oder mehr Aufgaben abwechseln zu lassen (► Abb. 18.19). Tatsächlich haben sich die ersten Untersuchungen zum Aufgabenwechsel dieser Methode bedient (Zillig 1926; Jersild 1927), und auch spätere Untersuchungen haben sie wieder aufgegriffen (z. B. Allport et al. 1994). Ähnlich wie der Vergleich von Einzel- und Mehrfachbedingungen in der Mehrfachaufgabenforschung (► Abschn. 18.4.1) hat dieses Vorgehen jedoch erhebliche Nachteile. Wenn Probanden zwischen mehreren Aufgaben wechseln, müssen sie sich mehr Instruktionen merken, könnten mehr oder weniger motiviert sein und sich z. B. schneller überfordert fühlen als in der Wiederholungsbedingung. Wenn dann eine Leistungsver schlechterung in der Wechselbedingung eintritt, ist sie daher nicht eindeutig zu interpretieren und könnte neben kognitiven auch motivationale und emotionale Ursachen haben. Außerdem erlaubt diese Methode nicht die Untersuchung einer Reihe sehr interessanter Fragen und Effekte, wie etwa die Wirkung verschiedenen langer Vorbereitung oder der Anzahl von Aufgabenwiederholungen vor einem Wechsel.

In jüngeren Arbeiten wurden verschiedene Verbesserungen und Erweiterungen vorgeschlagen. Rogers und Monsell (1995)

555555	22222	3	1483.
6	111111	111	1484.
44	33	66666	1485.
1111	1111	111111	1486.
22222	3333	222	1487.
555	5	55	1488.
33333	11111	3333	1489.
4	666	444444	1490.
3333	66666	33333	1491.
666	444	666	1492.
2	2	22222	1493.
11	44444	66	1494.
33	3	44444	1495.
444444	111	555555	1496.
2222	555	6	1497.
5	44	44	1498.
333333	222	1111	1499.
11111	55	22222	1500.
5555	222222	555	1501.
2	3333	5	1502.
22222	333333	333333	1503.
3333	2	11111	1504.
444	5555	5555	1505.
66	33333	2	1506.
44444	555555	2222	1507.
3	66	3333	1508.
111	2222	444	1509.
66666	444444	4	1510.
111111	22222	6666	1511.
222	6	222222	1512.
55	6666	2	1513.
222222	4	11	1514.
6666	11	33	1515.

**Abb. 18.19** Typische Listenaufgabe zur Untersuchung von Aufgabenwechselkosten. Bearbeiten Sie jeweils eine der Spalten, von oben nach unten, und decken Sie die anderen Spalten ab. In der ersten Spalte lesen Sie die jeweils angezeigte Ziffer, unabhängig davon, ob bzw. wie oft sie wiederholt wird (die korrekte erste Reaktion lautet also „5“). In der zweiten Spalte benennen Sie jeweils die korrekte Anzahl der gezeigten Ziffern, unabhängig von deren Inhalt (die korrekte erste Reaktion lautet also auch hier „5“). In der dritten Spalte wechseln Sie bei jedem Reiz die Aufgabe, lesen also den ersten Reiz, benennen die Ziffernzahl des zweiten, lesen den dritten usw. Die meisten Versuchspersonen finden die zweite Spalte schwieriger als die erste, die Wechselaufgabe aber bei Weitem am schwierigsten

ließen Probanden z. B. Aufgaben nach einem festen, vorgegebenen Muster ausführen. Die relevanten Reize bestanden dabei aus Buchstaben-Zahlen-Paaren, die im Uhrzeigersinn abwechselnd im rechten oberen, rechten unteren, linken unteren und linken oberen Fenster einer Vielfeldertafel erschienen. Die eine Aufgabe erforderte eine binäre Wahlreaktion auf den Buchstaben, je nachdem, ob es sich um einen Vokal oder Konsonanten handelte. Die andere Aufgabe erforderte dagegen eine Wahlreaktion auf die jeweilige Zahl, je nachdem, ob sie gerade oder ungerade war. Der Trick bestand darin, dass Aufgaben und Fenster perfekt assoziiert waren, d. h., bei Reizen in der oberen Zeile sollte die eine Aufgabe ausgeführt werden und bei Reizen der unteren Zeile die andere. Dadurch entstanden vollständig vorhersagbare Abfolgen von Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechseln (AABBAABB...) in demselben Versuchsblock, sodass die Leistung für beide Arten von Übergängen ohne Konfundierungen kognitiver, motivationaler oder emotionaler Faktoren ermittelt werden konnte.



■ **Abb. 18.20** Erklärung der in Untersuchungen zum Aufgabenwechsel relevanten Zeitintervalle am Beispiel des Designs von Meiran (1996)

Ein Nachteil dieser ABB-Methode ist der, dass die Abfolge der Aufgaben in einem Versuchsblock festliegt und nicht variiert werden kann. Auch die für die Vorbereitung einer neuen Aufgabe verfügbare Zeit (das Intervall zwischen einem Reiz bzw. der entsprechenden Reaktion und dem folgenden Reiz) kann nicht unabhängig von der seit der letzten Aufgabe vergangenen Zeit variiert werden, d. h., Vorbereitungseffekte und mögliche Nacheffekte sind konfundiert. Um diesen Problemen zu begegnen, führte Meiran (1996) **Aufgaben-Cues** (Hinweisreize) ein, die vor jedem einzelnen Durchgang die nächste Aufgabe signalisierten (vgl. auch Dixon 1981; Dixon und Just 1986).

■ **Abb. 18.20** zeigt ein Beispiel für den Ablauf von zwei Durchgängen in der Studie von Meiran (1996). Die Probanden sahen einen Reiz im rechten oberen, rechten unteren, linken unteren und linken oberen Fenster einer Vielfeldertafel; anders als bei Rogers und Monsell (1995) war die Abfolge der Reizpositionen jedoch zufällig. Zu Beginn eines jeden Durchgangs erschien ein Aufgaben-Cue, der anzeigte, auf welche Reizeigenschaft reagiert werden sollte: auf die vertikale Position, signalisiert durch zwei nach oben und unten weisende Pfeile, oder auf die horizontale Position, signalisiert durch zwei nach links und rechts weisende Pfeile. Eine variable Zeit nach dem Cue (Cue-Stimulus-Intervall, CSI) erschien der Reiz, auf den so schnell wie möglich reagiert werden sollte (Reaktionszeit). Die Reaktion erfolgte durch Drücken der jeweils räumlich kompatiblen von zwei diagonal angeordneten Tasten. Nach der Reaktion verging wieder eine variable Zeit (Reaktions-Cue-Intervall, RCI), bevor der nächste Aufgaben-Cue präsentiert wurde. Im Unterschied zu der Methode von Rogers und Monsell (1995) lassen sich mit diesem Design RSI (Reaktions-Stimulus-Intervall) und CSI unabhängig variieren und ihre entsprechenden Effekte separieren (► Abschn. 18.5.2 und 18.5.3).

Eine weitere Verbesserung des Aufgabenwechseldesigns wurde von Logan und Bundesen (2003) eingeführt. Die Autoren wiesen darauf hin, dass sich auch in der Anordnung von Meiran (1996) noch eine Konfundierung verbirgt: Wenn man jede Aufgabe durch einen bestimmten Cue anzeigt, dann ist mit

jedem Aufgabenwechsel auch ein Wechsel des Cues verbunden. Leistungsver schlechterungen nach einem Aufgabenwechsel könnten also in Wirklichkeit auf die Veränderung des Cue zurückzuführen sein. Um dies zu überprüfen, haben Logan und Bundesen (2003) zwei Cues pro Aufgabe verwendet und tatsächlich nachweisen können, dass die Leistungsver schlechterung in vielen Fällen wesentlich mehr mit dem Wechsel des Cue als mit dem Wechsel der Aufgabe zu tun hat.

Diese methodischen Entwicklungen und Verfeinerungen haben den Nutzen und die Attraktivität von Wechselaufgaben erheblich gesteigert, und so erfreuen sie sich höchster Beliebtheit nicht nur in kognitionspsychologischen, sondern auch entwicklungs- (z. B. Kray und Lindenberger 2000) und neuropsychologischen Studien (z. B. Fimm et al. 1994; Owen et al. 1993; Rogers et al. 1998; Stablum et al. 1994).

### 18.5.2 Aufgabenvorbereitung

Die wichtigste Voraussetzung für die Interpretation von Wechselaufgaben und ihrer Ergebnisse besteht in dem Nachweis, dass Menschen sich überhaupt auf Aufgaben vorbereiten. Um dies zu zeigen, bedarf es mehr als des Nachweises von **Wechselkosten**, also von schlechterer Leistung bei einem Aufgabenwechsel als bei einer Aufgabenwiederholung. Sicher könnten solche Kosten durch die Notwendigkeit entstehen, sich beim Wechsel zusätzlich vorzubereiten, sie könnten aber auch durch Nacheffekte der jeweils vorangegangenen Aufgabe zustande kommen (► Abschn. 18.5.3). Wie also kann man eine aktive Vorbereitung belegen? Eine Möglichkeit ergibt sich aus der naheliegenden Annahme, dass die Vorbereitungszeit benötigt und daher umso effektiver ist, je mehr Zeit für sie zur Verfügung steht. Tatsächlich sind die Wechselkosten, d. h. die Differenz der Reaktionszeiten und Fehler bei Aufgabenwechseln versus Aufgabenwiederholungen, umso kleiner, je länger das RSI ist, also die zwischen voriger Reaktion und nächstem Reiz zur Verfügung stehende Zeit (Allport et al. 1994; Rogers und Monsell 1995). Allerdings könnte



auch diese Beobachtung dadurch erklärt werden, dass die Nacheffekte vorausgehender Aufgaben (z. B. noch aktive, aber nun irreführende Reiz-Reaktions-Regeln der vorigen Aufgabe) mit der Zeit geringer werden. Wichtiger ist daher Meirans (1996) Beobachtung, dass längere Vorbereitungszeit auch dann die Wechselkosten verringert, wenn das RSI (d. h. die Summe aus RCI und CSI) konstant gehalten wird – was sich bei der Verwendung von Aufgaben-Cues dadurch erreichen lässt, dass man bei Variation des CSI die Summe von RCI und CSI konstant hält, also das RCI entsprechend anpasst. Diese Beobachtung zeigt, dass sich Wechselkosten nicht allein durch den (in manchen Fällen vielleicht zu geringen) zeitlichen Abstand zur vorherigen Aufgabe erklären lassen (► Abschn. 18.5.3).

Die Tatsache, dass Handelnde sich auf ihre Aufgaben bei ausreichender Zeit vorbereiten können und dies in der Regel auch tun, ist weitgehend unstrittig. Unklar ist aber noch, worin diese Vorbereitung eigentlich besteht, und so sind viele Autoren noch nicht sehr konkret in Bezug auf die angenommenen Prozesse. Drei, möglicherweise nicht ganz unabhängige Arten von Mechanismen sind etwas detaillierter diskutiert worden:

1. Die Aufgabenvorbereitung könnte sich mit dem Abruf und der Implementation der aufgabenspezifischen Regeln befassen. Rubinstein et al. (2001) zufolge wird Vorbereitungszeit zur Aktivierung einer Zielrepräsentation genutzt, die schließlich nach erfolgter Reizverarbeitung die relevanten Regeln spezifiziert. Auch Mayr und Kliegl (2000) führen Vorbereitungseffekte auf den Abruf aufgabenrelevanter Information zurück, nehmen jedoch an, dass der Abruf bereits während der Vorbereitung abgeschlossen wird. Im Einklang mit diesen Überlegungen stehen Beobachtungen, dass Wechselkosten mit der Komplexität der aufgabenrelevanten Regeln (Rubinstein et al. 2001) und der Abrufschwierigkeit aufgabenrelevanter Information (Mayr und Kliegl 2000) zunehmen.
2. Eine zweite theoretische Möglichkeit ist von Meiran (2000a; 2000b; Meiran et al. 2000) erwogen worden. Er geht davon aus, dass sowohl Reize als auch Reaktionen in einer aufgabenspezifischen Weise verarbeitet und interpretiert werden müssen, was bei einem Aufgabenwechsel eine Veränderung der Aufmerksamkeitseinstellung erfordert. Wenn z. B. ein Reiz erst hinsichtlich seiner vertikalen, dann seiner horizontalen Position beurteilt werden soll (► Abb. 18.20), dann muss die Aufmerksamkeit von der vertikalen zur horizontalen Dimension verschoben werden. Meiran zufolge geschieht dies nicht durch eine vollständige, diskrete Umschaltung, sondern durch eine unter Umständen nur kleine Veränderung der Gewichtung der entsprechenden Reizmerkmale (Ward 1982): Zuerst werden vertikale Merkmale stärker als horizontale gewichtet, nach dem Wechsel ist es umgekehrt. Nach Meiran kann diese Gewichtung, im Unterschied zu anderen wechselbezogenen Prozessen, unmittelbar nach Verarbeitung des Aufgaben-Cues in Angriff genommen werden und ist daher für die Vorbereitungseffekte verantwortlich (*preparatory component*). Für diese Aufmerksamkeitshypothese spricht z. B. die Beobachtung, dass der Zusammenhang von CSI und Wechselkosten bei univalenten Reizen verschwindet (Meiran 2000b), d. h. bei Reizen, denen die jeweils irrelevante, zur anderen Aufgabe gehörende Reizdimension fehlt und die

daher auch ohne Aufmerksamkeitsumstellung eindeutig zu interpretieren sind.

3. Die Vorbereitungszeit könnte dazu genutzt werden, die zur jeweils vorangegangenen Aufgabe gehörige Information zu unterdrücken (► Abschn. 18.5.3). Ein derartiger Suppressionsmechanismus könnte den Wechsel von einer Aufgabe zur nächsten entweder maßgeblich bewerkstelligen (Allport et al. 1994) oder zumindest unterstützen (Mayr und Keele 2000), indem durch die Inhibition der für die vorangegangene Aufgabe verantwortlichen Kontrollstruktur die relative Aktivierung der nun relevanten Kontrollstruktur zunimmt und diese so die alleinige Handlungskontrolle übernehmen kann. Für diese Annahme spricht u. a. die in einigen Untersuchungen beobachtete, aufgabenspezifische Asymmetrie von Wechselkosten. Allport et al. (1994) präsentierten z. B. Stroop-Reize (Farbwörter in jeweils inkongruenter Druckfarbe), die abwechselnd gelesen (wortbezogene Reaktionen) und benannt (farbbezogene Reaktionen) werden sollten, ähnlich wie bei dem in ► Abb. 18.19 gezeigten Beispiel. Überraschenderweise fiel es den Probanden deutlich schwerer, zur eigentlich leichteren Leseaufgabe als zur schwereren Benennungsaufgabe zu wechseln. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass eine leichte und damit mutmaßlich dominante Aufgabe für die Ausführung einer weniger dominanten vergleichsweise stärker inhibiert werden muss, sodass sie sich langsamer wieder „erholt“, wenn sie wieder an der Reihe ist. Mayr und Keele (2000) ließen Probanden zwischen drei Aufgaben in zufälliger Folge alternieren und beobachteten umso bessere Leistungen, je länger die Ausführung der nun relevanten Aufgabe zurücklag. Ihrer Interpretation zufolge ist mit dem Wechsel zu einer neuen Aufgabe eine Inhibition der alten verbunden, und die negativen Konsequenzen dieser Inhibition nehmen mit der Zeit ab. Mit anderen Worten, je länger die letzte Inhibition einer Aufgabe zurückliegt, desto schneller kann die Aufgabe wieder aktiviert werden.

Es ist offensichtlich, dass die bislang vorliegenden Erklärungen von Vorbereitungseffekten noch der weiteren Ausarbeitung bedürfen, was im Übrigen für praktisch alle Ansätze zur Erklärung von wechselbezogenen Effekten gilt (► Abschn. 18.5.5). Auch wenn die Erklärungen recht unterschiedlich motiviert sind, wäre es daher gut möglich, dass sie sich nicht ausschließen, sondern lediglich verschiedene Facetten der Vorbereitung beleuchten. Abrufprozesse im Sinne von Mayr und Kliegl (2000) oder Rubinstein et al. (2001) benötigen z. B. Abruf-Cues, und es ist denkbar, dass die von Meiran (2000a; 2000b) beschriebenen Aufmerksamkeitsmechanismen dazu dienen, das kognitive System auf die zielgerichtete Verarbeitung solcher, schließlich durch den Reiz gelieferter Cues vorzubereiten. In dem Maße, in dem die Repräsentationen der Abruf-Cues bzw. der für sie relevanten Merkmale inhibitorisch verknüpft sind, sollte die Aktivierung eines Sets von Merkmalen zur Unterdrückung anderer führen, was wiederum mit den Annahmen von Mayr und Keele (2000) gut vereinbar ist. Mit anderen Worten, die bislang skizzierten theoretischen Zugänge stellen möglicherweise verschiedene Komponenten eines an sich einheitlichen, aber noch auszuarbeitenden Erklärungsansatzes dar.

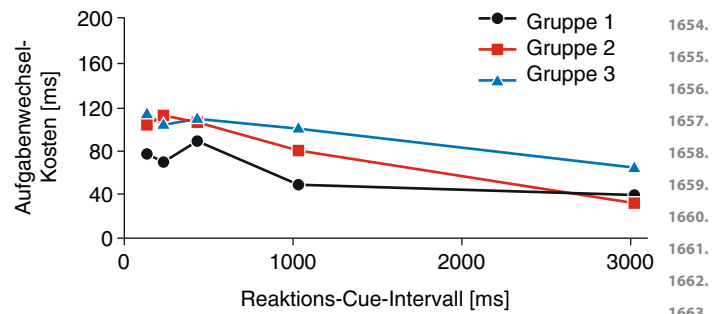
### 18.5.3 Proaktive Effekte

Wie bereits erläutert, sind Effekte der zwischen zwei Aufgaben vergangen Zeit nicht notwendigerweise bzw. nicht ausschließlich auf eine aktive Vorbereitung zurückzuführen. Ähnlich wie in Gedächtnisaufgaben, wo das vorherige Lernen von Gedächtnisitems den Erwerb von nachfolgenden Items beeinträchtigt (► Kap. 12), könnte das Ausführen einer Aufgabe negative Auswirkungen auf spätere Aufgaben haben, z. B. durch das Okkupieren wichtiger Ressourcen – eine Art proaktive Interferenz durch Aufgabenträgheit (*task set inertia*; Allport et al. 1994). Wenn man die ebenfalls plausible Annahme hinzufügt, dass diese Nacheffekte mit der Zeit geringer werden, dann lässt sich in der Tat eine Verringerung von Wechselkosten mit zunehmendem RSI vorhersagen – so wie von Allport et al. (1994) sowie Rogers und Monsell (1995) beobachtet.

Separieren lassen sich echte Vorbereitungskosten und Proaktive Interferenz mithilfe der von Meiran (1996) eingeführten Technik des zufälligen Aufgaben-Cueing. Wenn die Aufgaben unvorhersagbar wechseln, sind Probanden auf den Aufgaben-Cue angewiesen und können sich jedenfalls in spezifischer Weise erst ab der Darbietung dieses Cue vorbereiten. Echte Vorbereitungseffekte sind also nur solche, die mit dem CSI variieren oder, genauer, mit zunehmendem CSI geringer werden. Dass diese spezifischen Effekte existieren, hat Meiran (1996) zeigen können, indem er das CSI bei konstantem RSI variierte, d. h. das RCI in genau dem Maße verringerte, in dem das CSI anstieg.

Um proaktive Effekte der jeweils vorangegangenen Aufgabe zu ermitteln, liegt es nahe, den umgekehrten Weg einzuschlagen und das RSI bei konstantem CSI zu variieren, d. h. nur das RCI zu manipulieren. Dies haben Meiran et al. (2000) getan, wobei sie das CSI konstant hielten und das RCI in verschiedenen Gruppen entweder in verschiedenen Blöcken (Gruppe 1 und 3) oder zufällig (Gruppe 2) variierten. Wie in ■ Abb. 18.21 zu sehen, nahmen die Wechselkosten kontinuierlich mit zunehmendem RCI ab, und zwar in allen drei Gruppen. In Übereinstimmung mit Allport et al. (1994) übt also unabhängig von irgendwelcher Vorbereitung schon das Ausführen einer Aufgabe einen störenden, proaktiven Effekt auf darauffolgende Aufgaben aus – und zwar umso mehr, je kürzer die Zeit zwischen den benachbarten Aufgaben ist. Dass dieser Effekt relativ passiv ist, zeigt ein Vergleich von Gruppe 1, in der Aufgabenwiederholungen und Wechsel gleich wahrscheinlich waren, und Gruppe 3, in der Wiederholungen wahrscheinlicher waren als Wechsel. Einerseits ist offensichtlich, dass die Wechselkosten bei einer höheren Wahrscheinlichkeit von Wechseln größer sind (s. den Haupteffekt der Gruppen in ■ Abb. 18.21). Es scheint also möglich zu sein, das mutmaßlich nützlichere Aufgabenset in höherer Bereitschaft zu halten. Andererseits ist die Abnahme von Wechselkosten über die Zeit nicht abhängig von der Wechselwahrscheinlichkeit, d. h., das Gefälle der RCI-Funktion ist in allen drei Gruppen vergleichbar.

Neben diesen passiven Nacheffekten sind auch Nacheffekte beobachtet worden, die auf Beiträge aktiver Hemmung schließen lassen. Wie in ► Abschn. 18.5.2 erörtert, fanden Mayr und Keele (2000) umso bessere Leistungen, je länger die Ausführung der nun relevanten Aufgabe zurücklag, was eine mit der Zeit nachlassende Inhibition der früheren Aufgabe nahelegt. Interessan-



■ Abb. 18.21 Aufgabenwechselkosten (Wechsel minus Wiederholung) in der Untersuchung von Meiran et al. (2000) als Funktion des Reaktions-Cue-Intervalls (RCI) und der Versuchsgruppe. In allen Gruppen nehmen die Wechselkosten mit dem Abstand zur vorigen Aufgabe ab

terweise war auch dieser Effekt unabhängig vom jeweiligen CSI, d. h., er variierte nicht mit dem Ausmaß der Vorbereitung auf die nächste Aufgabe, und er hing nicht von der Wiederholung der zuvor dargebotenen Reize ab. Mit anderen Worten, er scheint wie der von Meiran et al. (2000) berichtete Nacheffekt sowohl proaktiv als auch unspezifisch zu sein.

Hinweise auf eine Reihe spezifischerer Nacheffekte haben Untersuchungen von Allport und Kollegen ergeben. Wylie und Allport (2000) präsentierten z. B. ihren Probanden neben zu benennenden Farben und zu lesenden Wörtern auch Stroop-Reize, also Farbwörter in inkongruenter Schriftfarbe, die entweder benannt (Farbantwort) oder gelesen (Wortantwort) werden konnten. Wenn in der Farbaufgabe nur Farben (also keine Stroop-Reize) vorkamen, war der Wechsel zur Wortaufgabe mit moderaten Wechselkosten verbunden, unabhängig davon, ob in der Wortaufgabe unfarbige oder farbige Wörter erschienen. Die Wechselkosten waren also nicht davon abhängig, ob die Reize der momentanen Aufgabe auch die Ausführung der jeweils anderen Aufgabe erlauben würden. Das ist eine wichtige Beobachtung, da einige Autoren vermutet haben, Wechselkosten könnten auf die Mehrdeutigkeit von Reizen zurückgehen, d. h. deren Fähigkeit, mehrere Handlungen „anzubieten“ (Jersild 1927; Rogers und Monsell 1995). Als Wylie und Allport (2000) jedoch mehrdeutige (d. h. Stroop-)Reize auch in der Farbaufgabe einsetzten, wuchsen die Wechselkosten für die Wortaufgabe beträchtlich an. Mit anderen Worten, die Wechselkosten werden maßgeblich von reizinduzierten Konflikten in der vorherigen, alternativen Aufgabe und weniger von Konflikten in der momentanen Aufgabe bestimmt. Wie lässt sich dieses, auf den ersten Blick kontraintuitive Ergebnis erklären?

Die von Allport und Wylie (2000) vorgeschlagene Erklärung geht davon aus, dass die Ausführung einer bestimmten Reaktion auf einen Reiz zur Assoziation oder Bindung von Reiz- und Reaktionsrepräsentation führt – eine auch in anderen Zusammenhängen bewährte Annahme (Hommel 1998b). Wenn demnach z. B. das in grün geschriebene Wort ROT in der Farbaufgabe mit der Reaktion „grün“ bedacht wird, sollte dies zur Bindung dieses Reizes und der „grün“-Reaktion führen. Erscheint dann derselbe Reiz in der Wortaufgabe, führt die erworbene Assoziation daher zur Aktivierung der nun falschen Reaktion, was wiederum die Auswahl der korrekten „rot“-Reaktion verzögert. In Übereinstimmung mit dieser Hypothese steigen die Wechselkosten

systematisch mit der Häufigkeit an, mit der die betreffenden Reize bereits im Rahmen der Alternativaufgabe vorkamen und mit jeweils anderen Reaktionen bedacht worden sind (Waszak et al. 2003; Wylie und Allport 2000).

Auf den ersten Blick scheinen sich die bislang beobachteten proaktiven Effekte zu widersprechen, und einige Autoren haben sie in der Tat verwendet, um alternative theoretische Überlegungen zu kontrastieren (z. B. Wylie und Allport 2000). Angesichts der unterschiedlichen Charakteristika der von Meiran et al. (2000) und Mayr und Keele (2000) berichteten, unspezifischen Nachwirkungen einerseits und der von Allport und Kollegen (Allport und Wylie 2000; Wylie und Allport 2000) gefundenen, spezifischen Effekte andererseits liegt es jedoch nahe, jeweils unterschiedliche Funktionsgrundlagen zu vermuten. Tatsächlich scheint es sich im ersten Fall um eher dynamische Effekte zu handeln, die das Ausmaß der Aktivierung konkurrierender Aufgabensets widerspiegeln, während die spezifischen Effekte eher von einer Art reizinduzierten Gedächtnisabrufs herrühren. Wenn das zutrifft, sollten beide Arten von Phänomenen mithilfe neurowissenschaftlicher Methoden, z. B. funktioneller Bildgebung, separierbar sein.

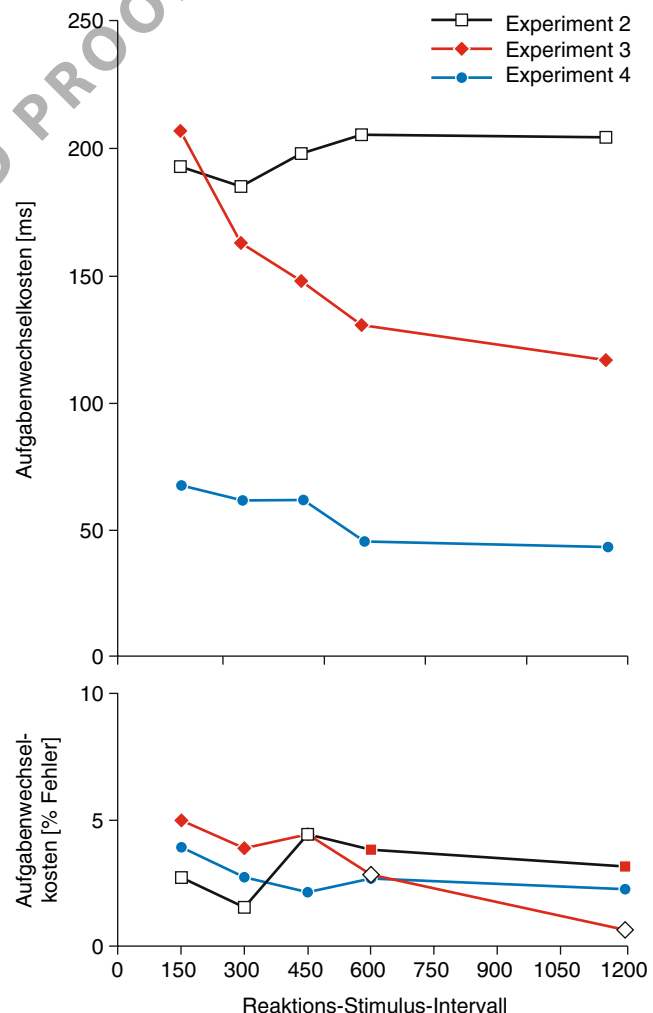
#### 18.5.4 Residuale Wechselkosten

Viele Untersuchungen zum Aufgabenwechsel basieren auf der Idee, Wechselkosten spiegeln mehr oder weniger unmittelbar den Aufwand der intentionalen Vorbereitung auf eine Aufgabe wider. Eine naheliegende Implikation dieser Idee besteht darin, dass Wechselkosten bei einer ausreichenden Vorbereitung eigentlich verschwinden sollten. Mit anderen Worten, wenn man das CSI nur hinreichend verlängern würde, dürften Unterschiede zwischen Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechseln eigentlich nicht mehr existieren. Überraschenderweise widersprechen die meisten Befunde dieser Erwartung, wie z. B. auch die in [Abb. 18.22](#) zusammengefassten Ergebnisse von drei Experimenten der Studie von Rogers und Monsell (1995). Einerseits nehmen die Wechselkosten zwar oft mit zunehmender Vorbereitungszeit bzw. dem CSI ab; andererseits bleibt selbst bei sehr langer Vorbereitung noch ein erklecklicher, offenbar nicht weiter reduzierbarer Teil erhalten.

Zur Erklärung dieser residualen Wechselkosten sind verschiedene, nicht unbedingt unvereinbare Vorschläge gemacht worden. Einer von Allport und Mitarbeitern (Allport et al. 1994; Wylie und Allport 2000) präferierten Möglichkeit zufolge könnten Residualkosten nichts weiter als Nacheffekte der sich langsam deaktivierenden vorherigen Aufgabe reflektieren, also lediglich proaktive Inhibition repräsentieren ([► Abschn. 18.5.3](#)). Angesichts der nachweisbaren Effekte solcher Art ist dies sicher eine plausible Annahme, die aber dennoch nicht alle Eigenschaften residualer Effekte erklären kann, wie z. B. ihr von null verschiedener asymptotischer Verlauf und die Beobachtung, dass bereits der erste Durchgang in einer neuen Aufgabe Residualkosten vollständig eliminiert (z. B. Rogers und Monsell 1995, Experiment 5). Rogers und Monsell (1995) haben daher vermutet, residuale Kosten spiegeln einen exogenen, also reizgetriebenen Anteil der Aufgabenvorbereitung wider, der erst nach Eintreffen des ersten

Reizes unter einem neuen Aufgabenset ausgeführt werden kann (*stimulus-cued completion hypothesis*). Dies ist mit den genannten Beobachtungen konsistent, stellt aber ohne weiteren Hintergrund nicht viel mehr als eine zusammenfassende Beschreibung der Befunde dar. Die eigentliche Frage lautet, warum die Vorbereitung nicht vor dem ersten Reiz einer neuen Aufgabe abgeschlossen wird oder werden kann:

1. Es wäre denkbar, dass Versuchspersonen in manchen Durchgängen einfach nicht oder nicht hinreichend motiviert sind, sich vollständig vorzubereiten (*failure-to-engage hypothesis*; De Jong 2000; De Jong et al. 1999). Residualkosten entsprächen demnach nicht dem bei jedem Aufgabenwechsel auftretenden exogen gesteuerten Anteil der Vorbereitung, sondern repräsentierten diejenigen Durchgänge, in denen Probanden erst auf den Reiz warten und dann mit der Vorbereitung beginnen. In Übereinstimmung mit dieser Annahme sind die Wechselkosten größer, wenn die Versuchsblöcke lang und die Versuchspersonen daher mutmaßlich weniger zur frühen Vorbereitung motiviert sind (De Jong 2000). Alternativ ist



**Abb. 18.22** Zusammenfassung der Aufgabenwechselkosten (Wechsel minus Wiederholung) aus drei Experimenten von Rogers und Monsell (1995) als Funktion des Reaktions-Stimulus-Intervalls (RSI). In Experiment 3 und 4 (mit geblocktem Intervall) nehmen die Wechselkosten mit zunehmendem Intervall ab. In Experiment 2 (mit zufällig variierendem Intervall) bleiben sie konstant auf hohem Niveau



aber nicht auszuschließen, dass längere Blöcke zu einer größeren Aktivierung der konkurrierenden Aufgabensets führen und dadurch die Wechselkosten erhöhen.

2. Es könnte sein, dass der Wechsel zu einer neuen Aufgabe stets die Inhibition der alten Aufgabe (Allport et al. 1994; Mayr und Keele 2000) bzw. der zur alten Aufgabe gehörigen Reaktionsassoziationen (Allport und Wylie 2000) erfordert, von der sich die alte Aufgabe erst einmal „erholen“ muss, wenn sie anschließend wieder gebraucht wird. Mit anderen Worten, residuale Wechselkosten könnten widerspiegeln, dass die neue Aufgabe in einem früheren Durchgang bereits als störender Wettbewerber aufgetreten ist und als solcher behandelt wurde. Auch wenn einige der bereits erörterten Befunde für Nacheffekte dieser Art sprechen (► Abschn. 18.5.2), ist doch schwer zu sehen, warum die Bewältigung dieser Nacheffekte nicht vor dem ersten Reiz beginnen, aber vor dem zweiten Reiz abgeschlossen werden kann.
3. Eine dritte, dem Ansatz von Wylie und Allport (2000) verwandte Variante zur Erklärung von Residualkosten ist von Meiran (2000; Meiran et al. 2000) vorgeschlagen worden. Ein wesentliches Problem bei vielen Arten von Aufgabenwechseln besteht nach Meiran in dem Erfordernis, auf denselben Reiz einmal mit dieser, einmal mit jener Reaktion zu antworten. Die Reaktionen erhalten dadurch jeweils verschiedene, wechselnde Bedeutungen, was eine stetige, aufgabenspezifische Anpassung der kognitiven Repräsentationen dieser Reaktionen voraussetzt. Wenn z. B. in Meirans (1996) Aufgabe der Druck einer links oben lokalisierten Taste im einen Durchgang „oben“, im nächsten aber „links“ bedeutet, dann muss die kognitive Repräsentation dieses Tastendrucks entsprechend uminterpretiert werden. Geht man davon aus, dass Handlungen kognitiv durch Codes ihrer perzeptuellen Effekte repräsentiert sind (Hommel 1996a; 1997; ► Abschn. 18.2.9), dann erfordert die neue Codierung einer Handlung deren zumindest einmalige Ausführung, sodass die dadurch erzeugten Handlungseffekte wahrgenommen, codiert und mit der betreffenden Reaktion verknüpft werden können. In Meirans Aufgabe z. B. muss also zunächst die Aufmerksamkeitseinstellung von „vertikal“ auf „horizontal“ umgestellt werden (was nach Meiran im CSI geschieht), die Reaktion ausgeführt und ihre (hier vor allem ortsbezogenen) Effekte sozusagen mit der neuen, horizontalen „Brille“ wahrgenommen werden, um die zuvor als „oben“ codierte Reaktion auf „links“ umzucodieren. Meiran zufolge ist der für Residualkosten verantwortliche Prozess also nicht reiz-, sondern reaktionsgetrieben, was erklären würde, warum er einerseits nicht vor dem ersten, neuen Durchgang begonnen, wohl aber vor dem zweiten Durchgang abgeschlossen werden kann. In Übereinstimmung mit diesem Ansatz treten residuale Wechselkosten dann nicht auf, wenn verschiedene, aufgabenspezifische Reaktionssets verwendet werden, sodass keine Umcodierung der Reaktionen erforderlich ist (Meiran 2000).

Zusammengenommen lässt sich festhalten, dass die Ursachen residualer Wechselkosten bislang noch nicht gut verstanden sind. Es ist zu vermuten, dass die bislang vorgeschlagenen Erklärungsansätze zum Teil verschiedene, sich nicht ausschließende Komponenten von Residualkosten (z. B. De Jong 2000; Allport et al. 1994), zum Teil aber auch verschiedene Aspekte desselben Verarbeitungsproblems (z. B. Wylie und Allport 2000; Meiran et al. 2000) thematisieren.

### 18.5.5 Implementierung und Aktualisierung von Aufgabensets

Der Begriff der exekutiven Funktionen bezieht sich auf Prozesse, die das kognitive System und seine Verarbeitungsprozesse so strukturieren, dass sie Umweltinformation und interne Wissensbestände in einer zielfdienlichen Weise verarbeiten und so motorische Aktivität auf angestrebte Handlungsziele orientieren; es geht also um Prozesse, die andere Prozesse kontrollieren. Was immer das Produkt der Aktivität solcher exekutiver Funktionen ist, lässt sich als Aufgabenset bezeichnen – gewissermaßen ein Sammelbegriff für alle aufgaben-, intentions- und handlungsbezogenen Einstellungen des kognitiven Apparats. Wie andere Sammelbegriffe ist auch der des Aufgabensets unscharf und in der Regel mehr eine Beschreibung zu erklärender Phänomene als bereits eine Erklärung, wie Gibson (1941) schon früh anmerkte. So ist es wenig erstaunlich, dass die meisten Autoren keine weitere Definition des Begriffs anbieten, und wenn sich aus Arbeiten implizite Definitionen ableiten lassen, so konvergieren sie kaum.

Einige Aussagen über die Eigenschaften von Aufgabensets sind bereits aufgrund der bislang vorliegenden Evidenz möglich. So ist es unwahrscheinlich, dass es sich bei solchen Sets um hochgradig integrierte kognitive Strukturen handelt, die wie ein Computerprogramm aufgerufen werden und imstande sind, die innerhalb ihres Kontrollbereichs ablaufenden Prozesse vollständig gegen andere Prozesse abzuschirmen. Zu einem Aufgabenset gehören vielmehr eine Vielzahl von Einstellungen, Anpassungen von Parametern, Voraktivierungen relevanter Repräsentationen und Assoziationen, Bereitstellungen benötigter Routinen etc., die in vielen Fällen sowohl organisatorisch als auch zeitlich nur lose zusammenzuhängen scheinen. Einige Einstellungen werden offenbar zu Beginn eines ganzen Aufgabenkomplexes vorgenommen, z. B. das angestrebte Verhältnis zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit (Gopher 1996; Meiran et al. 2002) oder das allgemeine Bereitschaftsniveau (De Jong 2000), während andere Einstellungen bei jedem Aufgabenwechsel angepasst werden. Zudem können Aufgabensets zwar intentional implementiert werden, führen dann aber auch nach Ablauf ihrer Nutzung unter Umständen noch ein Eigenleben und können nicht einfach gelöscht werden (Allport et al. 1994). Es ist wahrscheinlich, dass zumindest bei schnell wechselnden Aufgaben alle wiederholt benötigten Sets in einem gewissen Bereitschaftsgrad gehalten werden, sodass viele Reize imstande sind, mehr als eine Aufgabe (Rogers und Monsell 1995) oder zumindest mehr als eine Reaktion (Allport und Wylie 2000) zu aktivieren. Dies ist auch daran erkennbar, dass Reize, die in allen infrage kommenden Aufgaben dieselbe Reaktion erfordern, in der Regel schneller beantwortet werden als solche, die verschiedene Reaktionen benötigten (Meiran 1996; Rogers und Monsell 1995; Sudevan und Taylor 1987).



Auch wenn wir erst beginnen, die für zielgerichtete Handlungen verantwortlichen Prozesse zu verstehen, so lässt sich doch ein allgemeines Prinzip bereits erkennen. Ähnlich wie es nicht gelungen ist, ein einheitliches Aufmerksamkeits- oder Willenszentrum zu identifizieren, so ist auch die Existenz eines exekutiven Zentrums, möglicherweise sogar mit einer präzise bestimmbaren corticalen Adresse (z. B. im Frontalhirn), alles andere als wahrscheinlich. Wesentlich plausibler ist die Annahme, dass kognitive Kontrolle verteilt stattfindet – verteilt über Zeit und anatomischen Ort, über Prozesse und Strukturen. Mit anderen Worten, kognitive Kontrolle ist eine emergente Eigenschaft unseres Gehirns und seiner Funktionen, nicht die Konsequenz eines einzelnen, identifizierbaren, mentalen Vorgangs (s. auch ► Zur Vertiefung 18.3).

## 18.6 Anwendungsbeispiele

Wie die Untersuchungen anderer psychologischer Phänomene auch, sind Studien zur Handlungsplanung und Handlungskontrolle oft sehr künstlich, um die Vielzahl der möglichen Einflussfaktoren experimentell kontrollieren zu können. Die Ergebnisse dieser Studien haben jedoch vielfältige Implikationen für unseren Alltag, wie die folgenden drei Beispiele zeigen sollen.

### ■ Wie multitaskingfähig sind wir?

Meine holländischen Mitbürgerinnen und Mitbürger lieben ihr Fahrrad, ein in den engen Gassen der oft mittelalterlichen Städte sehr effizientes Mittel der Fortbewegung. Viele erledigen ihre Geschäfte während der Fahrt, und so sieht man kaum einen Schüler oder Studenten, der nicht während der Fahrt seine E-Mail checkt und Textbotschaften versendet. Diese Praxis ist nicht nur in vielen europäischen Ländern aus rechtlichen Gründen problematisch, sie ist auch kognitionspsychologisch unvernünftig. Wie Sie in ► Abschn. 18.4 erfahren haben, verschlechtert bereits eine geringfügige Erhöhung der Aufgabenkomplexität bzw. der Gedächtnisbelastung die Auswahl situativ angemessener Reaktionen. Dabei kann die Reaktionszeit auf das Anderthalbfache anwachsen, und – was im Alltag oft schwerer wiegt – die Fehler nehmen erheblich zu. Selbst die bloße Absicht, auf einen Anruf zu reagieren, kann die Schnelligkeit und Korrektheit von Reaktionen signifikant beeinflussen (Holland und Rathoud 2013). Methoden aus der PRP-Forschung haben maßgeblich dazu beigetragen, mögliche Probleme der Doppelaufgabenbelastung durch Handybenutzung zu analysieren und die gesellschaftliche und juristische Diskussion dieses oft sehr emotionsbesetzten Themas auf eine rationale Grundlage zu stellen.

### ■ Vom Nutzen der Automatisierung

In dem Spiel Costa Rica gegen die Niederlande in der Endrunde der Fußballweltmeisterschaft 2014 fiel auch in der Verlängerung kein Tor. In der 119. Minute wechselte der niederländische Trainer Louis van Gaal den Ersatztorhüter Tim Krul ein. Wie sich herausstellte, war dieser Spielzug im Voraus geplant, und Krul war intensiv auf die individuellen Vorlieben der Spieler aus Costa Rica beim Nehmen von Elfmtern vorbereitet worden. Bei jeder

Annäherung des Elfmeterpunktes durch einen costa-ricanischen Spieler ging Krul auf den Elfmeterschützen zu und bedeutete ihm verbal und nonverbal, dass er genau wüsste, wohin er schießen würde (und er wiederholte mehrfach: „I know!“). Es wird für immer ein Rätsel bleiben, warum der Schiedsrichter diese Unsportlichkeit nicht unterband, aber kognitionspsychologisch war sie außerordentlich clever (wie Krul durchaus wusste). Viele Teams probieren das Nehmen von Strafstößen durch ein großes Maß von Übung zu automatisieren, sodass Spieler auch ohne großes Nachdenken das fußballerisch Richtige tun. Diese Automatismen können wir an- und ausschalten, ganz ähnlich wie beim Autofahren – was wir bei ausreichender Übung meist automatisch tun. Während Automatismen fast keine mentale Energie (konzentrierte Aufmerksamkeit) benötigen, ist die willkürliche Steuerung sehr energieintensiv, und Energie ist das, was ein Spieler nach 120 min nicht mehr hat. Kruls Verunsicherung seines Gegenspielers musste also zur Folge haben, dass der sich nicht mehr auf seine Automatismen verließ, sondern im Zustand energetischer Erschöpfung versuchte, energieintensive Entscheidungen aktuell zu treffen. Das musste schiefgehen, und so hielt Krul zwei Strafstöße, und Costa Rica schied aus. Dieses Beispiel ist nur eines von vielen, denn bei einem zunehmend breiten physischen Leistungsniveau in vielen Sportarten wird die psychologische Ausbildung von Sportlern immer wichtiger, und gerade Untersuchungen zur Planung und Ausführung von Handlungen spielen dabei eine hervorragende Rolle.

### ■ Warum Mehrsprachigkeit flexibler macht

In ► Zur Vertiefung 2 konnten wir sehen, dass Kleinkinder und Kinder schon zu Beginn ihrer Entwicklung Wissen über die Handlungsmöglichkeiten in ihrer Umwelt erwerben. Dies hat nicht nur theoretische, sondern auch praktische Bedeutung, denn es zeigt, wie wichtig Bewegung und aktive Exploration für die kindliche Entwicklung sind. Ein etwas unerwartetes Beispiel dafür kommt aus dem Bereich der Sprachentwicklung. Einige Beobachtungen deuteten darauf hin, dass zweisprachig erzogene Kinder zumindest vorübergehend gewisse Nachteile gegenüber monosprachlich erzogenen Kindern haben. Und das liegt ja auch nahe, denn wenn man zwei Sprachen gleichzeitig erwirbt, ergeben sich viele Gelegenheiten für Verwechslungen. Interessanterweise scheint aber dieser Nachteil zum Beginn der sprachlichen Entwicklung in einen Vorteil umzuschlagen, und dies nicht nur im sprachlichen Bereich. Zahlreiche Befunde zeigen, dass zweisprachig erzogene Erwachsene bessere Leistungen in einer Reihe von nichtsprachlichen Tätigkeiten zeigen, z. B. beim Ignorieren von Ablenkungen und beim Wechseln zwischen verschiedenen Aufgaben (Bialystok 2001). Die mögliche Ursache besteht darin, dass das gleichzeitige Umgehen mit mehreren Sprachen oft zu wechselseitigen Störungen (Interferenzen, *crosstalks*) führt. Die lernende Person muss daher Fähigkeiten erwerben, um damit umzugehen und z. B. die momentan nicht gebrauchte Sprache effektiv zu unterdrücken. Der Erwerb dieser Fähigkeiten kostet Zeit, und dies erklärt den anfänglichen Nachteil, aber die Fähigkeiten können auch unter anderen Umständen eingesetzt werden – wie das effektive Unterdrücken einer nicht mehr aktuellen Aufgabe oder eines nicht produktiven Gedankens. Diese Einsicht eröffnet neue Perspekti-

## Zur Vertiefung 18.3

## Die Regulation kognitiver Konflikte

Zahlreiche Effekte in der Kognitiven Psychologie werden durch die Annahme von Reaktionskonflikten erklärt: Der Stroop-Effekt (langsamere Reaktion wenn die Farbe eines Wortes benannt werden soll, das eine andere Farbe benennt) wird z. B. darauf zurückgeführt, dass sowohl die Farbe des Wortes als auch seine Bedeutung inkompatible Reaktionen aktivieren (► Abschn. 18.3 und 18.5). Auch Untersuchungen zum Aufgabenwechsel bedienen sich oft indirekt derartiger Konflikte, indem sie die verschiedenen Aufgaben mit inkompatiblen Reiz-Reaktions-Regeln versehen (► Abb. 18.20). Wie derartige Konflikte entstehen, ist leicht zu sehen, z. B. durch Übung (wir lesen Wörter viel öfter, als dass wir ihre Farbe benennen) oder eben durch die Notwendigkeit, sich widersprechende Regeln im Kurzzeitgedächtnis zu behalten. Wie aber lösen wir solche Konflikte?

Ein einflussreiches Modell zur Regulation von Reaktionskonflikten ist von Botvinick et al. (2001) vorgestellt worden. Es basiert auf früheren Überlegungen zur Handlungskontrolle (► Abschn. 18.5). Wie in ► Abb. 18.23 skizziert, gehen die Autoren von der Existenz einer Kontrollinstanz aus, die das Auftreten von Reaktionskonflikten registriert. Sobald ein Konflikt registriert wird, führt dies zur Verstärkung der Repräsentation des Handlungszieles. Das Beispiel bezieht sich auf den Stroop-Effekt. Die Präsentation des grün gefärbten Wortes „ROT“ würde dem Modell zufolge sowohl die (richtige) Reaktion „grün“ als auch die (falsche) Reaktion „rot“ aktivieren und damit einen Reaktionskonflikt auslösen. Die Registrierung des Konflikts durch den Konfliktmonitor führt zur Verstärkung der momentan relevanten Aufgabenrepräsentation (Farbe benennen), was wiederum die Farbeigenschaften des Wortes verstärkt. Als Konsequenz kann die richtige Reaktion „grün“ stärker aktiviert

werden als die falsche, was die Ausführung der korrekten Handlung zwar verzögert, aber letztlich doch erlaubt. Das Auftreten eines Konflikts führt also zu einem höheren Maß an Kontrolle.

Die Überlegung von Botvinick et al. (2001) erlaubt die Vorhersage eines interessanten sequenziellen Effekts: Das Ausmaß eines Reaktionskonflikts sollte unmittelbar nach dem Auftreten eines Konflikts reduziert sein. Wenn nämlich die Registrierung eines Konflikts zu einer verstärkten Aktivierung des Handlungszieles führt, und wenn diese Aktivierung den Wettbewerb der korrekten Reaktion um die Selektion unterstützt, dann sollte die korrekte Reaktion im darauffolgenden Durchgang von dieser höheren Zielaktivierung profitieren und sich schneller gegenüber ihren Wettbewerbern durchsetzen. Tatsächlich haben eine Reihe von Studien derartige sequenzielle Effekte gefunden: Die Größe von Stroop-Effekten (Kerns et al. 2004) und Simon-Effekten (Stürmer et al. 2002) fällt z. B. deutlich kleiner aus, wenn man sie unmittelbar nach einem inkompatiblen Durchgang misst.

Einen tieferen Einblick in die neurophysiologischen Mechanismen der Konfliktregulation erlaubt die rezente fMRI-Studie von Egner und Hirsch (2005). Dort wurden Probanden mit Stroop-artigen (d. h. kompatiblen oder inkompatiblen; ► Kap. 5) Kombinationen von Gesichtern und Namen bekannter Schauspieler und Politiker konfrontiert. In einer der Bedingungen sollten sie angeben, ob das jeweilige Gesicht einen Schauspieler oder einen Politiker zeigt, und dabei die Wörter ignorieren. Wie ► Abb. 18.24 zeigt, erlaubten kongruente Kombinationen (z. B. das Gesicht von Robert de Niro mit dem Namen „Jack Nicholson“) schneller Reaktionen als inkongruente Kombinationen (z. B. das

Gesicht von Robert de Niro mit dem Namen „Bill Clinton“). ► Abb. 18.24 zeigt aber auch, dass dieser Kompatibilitätseffekt unmittelbar nach inkompatiblen Durchgängen nicht mehr messbar war – genau wie das Modell von Botvinick et al. (2001) erwarten lässt. Egner und Hirsch (2005) maßen gleichzeitig die Aktivierung des für die Verarbeitung von Gesichtern zuständigen corticalen Arealen (des fusiformen Gesichtsareals) in jedem Durchgang. Wie die untere Grafik zeigt, nahm diese Aktivierung nach inkongruenten Durchgängen zu, vor allem wenn auch der derzeitige Durchgang ein inkongruenter war. Dies legt nahe, dass die Erfahrung eines Reaktionskonflikts (im vorherigen Durchgang) tatsächlich zu einer erhöhten corticalen Sensibilität gegenüber aufgabenrelevanter Information führt. Was wiederum die Überlegung bekräftigt, dass Konflikte eine stärkere Konzentration auf das Handlungsziel nach sich ziehen.

Jüngste Untersuchungen haben sich mit der Frage beschäftigt, durch welche Art von Information diese stärkere Konzentration eigentlich getrieben wird. Die ursprüngliche Überlegung von Botvinick et al. (2001) ging davon aus, dass der Konfliktmonitor direkt über das Vorliegen eines Reaktionskonflikts informiert wird. Später hat Botvinick (2007) die Möglichkeit erwogen, dass der Konfliktmonitor affektive Zustände ausliest. Tatsächlich konnte nachgewiesen werden, dass die Konfliktregulation bei der Gabe von Belohnungen und der Induzierung positiver Stimmung zusammenbricht (van Steenbergen et al. 2009; 2010) und die der Konfliktregulation zugrunde liegenden corticalen Strukturen unter positiver Stimmung weniger Informationen erhalten (van Steenbergen et al. 2015).

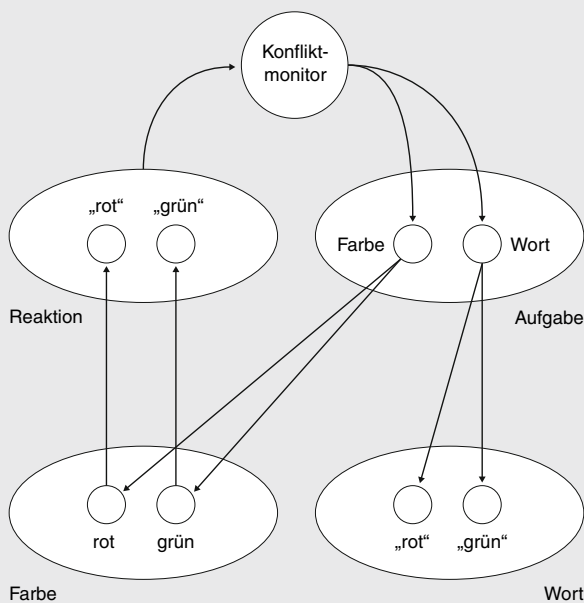
ven und viele neue Möglichkeiten für die Gestaltung schulischer und außerschulischer Curricula.

## 18.7 Ausblick

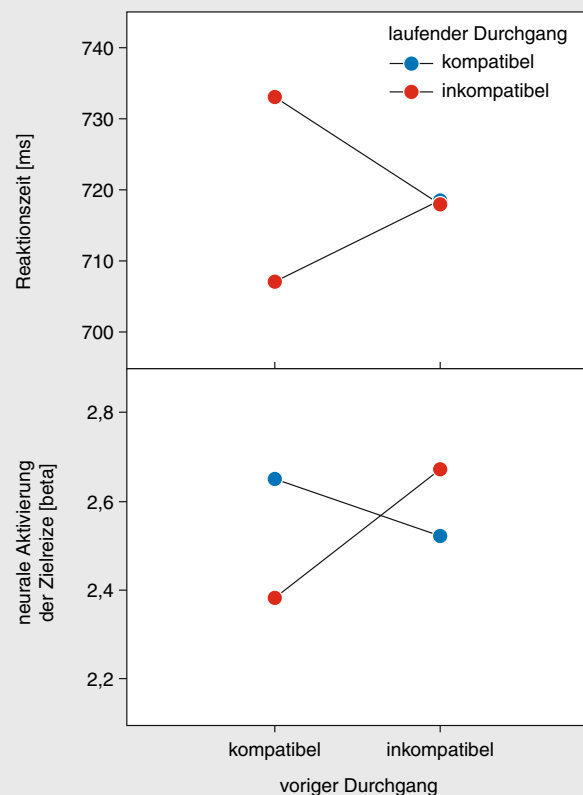
Das 20. Jahrhundert hat es mit der Psychologie der Handlungsplanung und -kontrolle nicht immer gut gemeint. Auch wenn Pioniere wie Lotze (1852), James (1890) und Dewey (1896) Kognition und Handlung eng verknüpft gesehen haben, so ist die Handlung nur wenig später zur bloßen Reaktion reduziert – wie zu Zeiten des Behaviorismus – oder ganz vergessen worden – wie zu Beginn der kognitiven Revolution während der 1960er und 1970er Jahre. Erst in den letzten Jahren lassen sich zunehmend Tendenzen beobachten, die Handlung als vollwertigen Untersuchungsgegenstand der Kognitionspsychologie

zu rehabilitieren. Die Gründe dafür sind recht vielfältig: Sie reichen von einem zunehmenden Leerlauf von Ansätzen der Informationsverarbeitungspsychologie und nur bescheidenen Fortschritten einer rein wissensorientierten Künstlichen Intelligenz über den zunehmenden Einfluss neurowissenschaftlicher Erkenntnisse bis zur Entwicklung moderner, handhabbarer Methoden zur Bewegungsmessung und -protokollierung. Auch der Schritt zu ökologisch validen Forschungsfragen und Untersuchungssettings bringt die Handlung zunehmend zurück ins Spiel (z. B. Allport 1993; Clark 1999; Decety und Grèzes 1999). Weitere Gründe für die zunehmende Bedeutung der Handlung ergeben sich aus der zunehmenden Ausrichtung der Forschungsförderung (z. B. im Rahmen des EU-Programms Horizon 2020) auf gesellschaftlich relevante Forschungsfragen (was das Augenmerk auf tatsächliches Verhalten lenkt) und der zunehmenden Bedeutung der kognitiven Robotik (für die Fra-

## Zur Vertiefung 18.3 (Fortsetzung)



**Abb. 18.23** Die mögliche Funktion eines Konfliktmonitors. In inkongruenten Bedingungen der Stroop-Aufgabe (z. B. bei der Benennung der Farbe des grün gefärbten Wortes „ROT“) entsteht ein Reaktionskonflikt, d. h., mehrere Reaktionen sind aktiviert. Der Konfliktmonitor könnte derartige multiple Aktivierungen entdecken und eine stärkere Aktivierung der eigentlichen Aufgabe (Farbe benennen in diesem Fall) bewirken. Diese stärkere Aktivierung würde die Selektion des aufgabenrelevanten Merkmals erleichtern und späteren Reaktionskonflikten entgegenwirken



**Abb. 18.24** Reaktionszeiten und Maße der Gehirnaktivität aus der Untersuchung von Egner und Hirsch (2005). Der Effekt der Kompatibilität im laufenden Durchgang wird moderiert durch die Kompatibilität im vorigen Durchgang

gen der Handlungssteuerung von besonderer Bedeutung sind; de Kleijn et al. 2014).

Aber auch die Art der theoretischen Annäherung verändert sich zunehmend. Eine beträchtliche Zahl der hier diskutierten Untersuchungen ging von einem eher übersichtlich gestrickten Rahmenmodell der menschlichen Informationsverarbeitung aus, in dem auf Stufen der Reizverarbeitung die Stufen der Reaktionsauswahl, der Reaktionsprogrammierung und der motorischen Ausführung folgten. Es ist abzusehen, dass sich dieser theoretische Rahmen in verschiedener Hinsicht als zu starr erweisen wird.

Erstens zeigt sich zunehmend, dass der Fluss der Information nicht nur von *Input* zu *Output* verläuft, sondern auch umgekehrt Prozesse der Handlungsplanung und -kontrolle die Wahrnehmung beeinflussen (► Kap. 22). Zweitens ist der Übergang von Reaktionsauswahl zur Ausführung offenbar fließender, als Stufenmodelle suggerieren (z. B. Ghez et al. 1990; Hommel 1996b), sodass sie wahrscheinlich dynamischeren Modellen weichen werden, die Handlungsplanung als zeitlich erstreckten Prozess der zunehmend präziseren Spezifikation von Bewegungszielen charakterisieren. Drittens werden sich auch die Vorstellungen über die corticale Repräsentation von Handlungen und Handlungsplänen verändern. Es ist zu vermuten, dass die Idee einer anatomisch auf primär- und supplementär-motorische Areale begrenzten

Programmierung zugunsten einer alternativen Konzeption der über viele, unter Umständen auch bislang nicht als „motorisch“ verstandenen Hirnbereiche verteilten neuronalen Kontrolle aufgegeben wird (Requin 1992; Stoet und Hommel 1999; Wickens et al. 1994). Viertens ist zu erwarten, dass die Annahmen zur Ursache von Engpässen in der Informationsverarbeitung zunehmend spezifischer werden und so über die bloße Demonstration und Lokalisierung der Verarbeitungsprobleme hinausgehend auch deren funktionale Logik, unter Umständen sogar ihren Nutzen begreiflich machen. Fünftens schließlich ist wahrscheinlich, dass der Begriff der exekutiven Kontrolle ein ähnliches Schicksal erleidet wie der der Aufmerksamkeit. Das heißt, er wird sich zunehmend zersplittern, auf immer mehr, immer verschiedenere Phänomene und Kontrollfunktionen angewandt werden – schließlich auf zu viele, um auf einer subpersonalen Analyseebene noch irgendetwas Zusammenhängendes sinnvoll beschreiben zu können. Aber angesichts der enormen Komplexität, Flexibilität und Adaptivität menschlichen Handelns ist auch kaum zu erwarten, dass es durch ein einzelnes, separierbares Systemmodul gesteuert wird.

## 18.8 Weiterführende Informationen

### ■ Kernsätze

- Zielgerichtete Bewegungen werden durch temporäre kognitive Strukturen gesteuert, die antizipative Repräsentationen der intendierten Handlungseffekte mit entsprechenden ziieldienlichen motorischen Einstellungen verknüpfen.
- Handlungspläne können ohne unmittelbares Feedback ausgeführt, wahrscheinlich aber nicht erworben werden.
- Die Implementierung eines Handlungsplanes erfolgt in drei, sich unter Umständen zeitlich überlappenden Schritten. Erstens werden die Merkmale der intendierten Handlung selegiert – ein Prozess, dessen Zeitbedarf zumindest bei ungeübten Handlungen mit der Anzahl der Merkmale, der Komplexität und erforderlichen Präzision der geplanten Bewegungen zunimmt. Zweitens werden die selegierten Elemente in einen kohärenten Plan integriert, der drittens schließlich initiiert wird.
- Die Art der Handlungsplanung verändert sich mit der Übung, vor allem bei längeren Handlungssequenzen. Während zunächst oft alle erforderlichen Handlungsschritte bereits vor Bewegungsbeginn geplant werden, besteht bei geübten Sequenzen die Möglichkeit und Neigung zur zeitlich überlappenden Planung, d. h., die jeweils folgenden Schritte werden während der Ausführung des vorhergehenden Schrittes geplant und implementiert.
- Mehrfachtätigkeiten erschweren die Planung und Kontrolle von Handlungen in verschiedener Hinsicht. Erstens erfordern sie eine der eigentlichen Handlung vorausgehende Entscheidung über die den jeweiligen Teilhandlungen zuzulassenden kognitiven Ressourcen. Zweitens können sie zu Verarbeitungsengpässen führen; so scheint die Auswahl einer Reaktion den gleichzeitigen Abruf von expliziter Gedächtnisinformation und die gleichzeitige Planung oder Initiierung einer anderen Handlung schwer bis unmöglich zu machen.
- Der Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben kann eine Reihe von Planungs- und Kontrollproblemen hervorrufen. Erstens können häufige Wechsel zu einer Verringerung der Vorbereitung auf die jeweilige Aufgabe führen, was unter Umständen den Abruf zielbezogener Repräsentationen und Reiz-Reaktions-Regeln, die Optimierung der Aufmerksamkeitseinstellung und/oder die effektive Unterdrückung irrelevanter Information beeinträchtigt. Zweitens können Kontrollstrukturen vorangegangener Aufgaben nicht sofort vollständig gelöscht werden, sodass sie zumindest bei raschen Wechseln mit der Kontrolle nachfolgender Aufgaben interferieren. Drittens schließlich erfordert die Umstellung auf eine neue Aufgabe zumeist eine kurze Warmlaufphase, um die aufgabenrelevanten kognitiven Repräsentationen an die neue Situation anzupassen.

### ■ Schlüsselbegriffe

**Antizipationseffekt (effect of anticipation)** Effekte der kognitiven Vorbereitung auf ein Ereignis vor dessen physischer Realisierung; nur indirekt erschließbar.

**Aufgaben-Cue (task cue)** Typischerweise vor einem relevanten Reiz angebotene Information über die aktuellen Reiz-Reaktions-Regeln. 1996. 1997. 1998. 1999.

**Aufgabenwechsel (task switch)** Wechsel zwischen Tätigkeiten, die in der Regel verschiedene Zuordnungen von Reizen und Reaktionen verlangen. 2000. 2001. 2002. 2003.

**Doppelaufgabe (dual task)** Aufgabe, die die zeitlich überlappende Bearbeitung zweier verschiedener, meist durch separate Reiz- und Reaktionssets definierte Teilaufgaben erfordert. 2004. 2005. 2006. 2007.

**Engpassmodell (bottleneck model)** Modelltyp, demzufolge Leistungsdefizite durch bestimmte, lokalisierbare Verarbeitungsstufen entstehen, die nur seriell arbeiten und daher Informationsstaus auslösen können. 2008. 2009. 2010. 2011. 2012.

**Exekutive Funktionen (executive functions)** Sammelbegriff für diejenigen kognitiven Prozesse, die für die zielbezogene Kontrolle anderer, aufgabenspezifischer Prozesse verantwortlich sind. 2013. 2014. 2015. 2016.

**Handlung (action)** Gesamtheit der auf ein intendiertes Ziel gerichteten Bewegungen. 2017. 2018. 2019.

**Handlungseffekt (action effect)** Jede wahrnehmbare, mittelbare oder unmittelbare Konsequenz einer Handlung. 2020. 2021. 2022.

**Handlungsinitiierung (action initiation)** Prozess, der die abschließende Ausführung einer geplanten Handlung besorgt. 2023. 2024. 2025.

**Handlungsplan (action plan)** Kognitive Kontrollstruktur zur Realisierung intendierter Handlungseffekte. 2026. 2027. 2028.

**Handlungssequenz (action sequence)** Handlung, die aus mehreren, wie auch immer definierten Teilschritten besteht, z. B. das Zubereiten einer Tasse Kaffee. 2029. 2030. 2031. 2032.

**Ideomotorisches Prinzip (ideomotor principle)** Annahme, der zufolge Handlungen durch das Denken an oder Antizipieren von durch diese Handlung produzierte, sensorische Effekte hervorgerufen und gesteuert werden. 2033. 2034. 2035. 2036. 2037.

**Integration (integration)** Prozess des Zusammenfügens (z. B. cortical) verteilter Information zu einer kohärenten Struktur. 2038. 2039. 2040.

**Komplexitätseffekt (effect of complexity)** Auswirkungen des Umfangs oder des Detailreichtums einer Handlung auf die für ihre Planung erforderliche Zeit. 2041. 2042. 2043. 2044.

**Koartikulation (coarticulation)** Veränderung der Artikulation eines Lautes oder (metaphorisch gesprochen) einer manuellen Bewegung infolge nachfolgender, offenbar antizipierter Laute oder anderer Bewegungselemente. 2045. 2046. 2047. 2048. 2049.

**Merkmalsbindung (feature binding)** Prozess der Markierung und wechselseitigen Referenzierung von kognitiven Codes, die sich auf dasselbe Ereignis beziehen. 2050. 2051. 2052.



**Motorisches Programm (motor program)** Ursprünglich verstanden als gespeichertes Set von Muskelkommandos; in letzter Zeit eher als allgemeiner Begriff für kognitive Kontrollstrukturen zur Realisierung von Bewegungen (s. Handlungsplan).

**Motorisches Schema (motor schema)** Eine Art flexibles, nur wenige, invariante Bestandteile einer Handlung festlegende motorische Kontrollstruktur, die durch Parameter ergänzt werden muss.

**Parameter (parameter)** Im Zusammenhang mit der motorischen Programmierung verwendeter Begriff zur Bezeichnung von „freien Stellen“ innerhalb erworbener Handlungsprogramme oder Schemata, mit deren Hilfe Programme an veränderliche situative Gegebenheiten angepasst werden können.

**Psychologische Refraktärperiode (psychological refractory period, PRP)** Verminderung der Leistung in einer Aufgabe, wenn sie unmittelbar nach oder gar während einer anderen Aufgabe ausgeführt werden soll. Ursprünglich als Erklärungsbegriff gedacht dient er mittlerweile zur Kennzeichnung empirisch festgestellter Mehrfachaufgabenkosten.

**Reihenfolgefehler (sequence error)** Fehler bei sequenziellen Handlungen, der in der Ausführung der korrekten Handlungsschritte in der falschen Reihenfolge besteht.

**Reiz-Reaktions-Kompatibilität (stimulus-response compatibility)** Besonders gute Passung bestimmter, z. B. räumlich korrespondierender Reize und Reaktionen; sichtbar durch besonders gute Leistungen bei diesen, im Vergleich zu anderen Reiz-Reaktions-Paarungen.

**Reiz-Reaktions-Übersetzung (stimulus-response translation)** Hypothetische Verarbeitungsstufe, die für die Aktivierung von Reaktionen nach Maßgabe der vorliegenden Reizinformation und der gültigen Reiz-Reaktions-Regeln sorgt.

**Rückmeldung (feedback)** Information über eigene Aktivitäten, z. B. über die sensorischen Konsequenzen der Ausführung einer Bewegung.

**Vorinformation (precue)** Ereignis, das vor der Präsentation eines wahrzunehmenden Reizes oder der Ausführung einer Reaktion verfügbar ist bzw. präsentiert wird und (zumeist nur zum Teil) über deren zu erwartende Eigenschaften informiert.

**Wechselkosten (switching costs)** Leistungsdefizite, die durch das Wechseln zu einer neuen Aufgabe entstehen, z. B. die Differenz zwischen der Reaktionszeit nach einem Aufgabenwechsel und der Reaktionszeit nach einer Aufgabenwiederholung.

**Ziel (goal)** Angestrebter Zustand einer Person (z. B. Emotionen), in der Umwelt (z. B. ein gewünschtes Ereignis) oder hinsichtlich der Person-Umwelt-Beziehung.

## ■ Weiterführende Literatur

- Engel, A. K., Roelfsema, P. R., Fries, P., Brecht, M., & Singer, W. (1997). *Role of the temporal domain for response selection and perceptual binding*. Cerebral Cortex, 7, 571–582. (Wichtiger Artikel, der die mögliche Rolle zellulärer Synchronisation bei der Integration in Wahrnehmung und Handlung diskutiert.)
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe. (Ausführliche Einführung in Fragen des Zusammenhangs von Wahrnehmung und Handlung anhand einer Vielzahl psychologischer Phänomene und Probleme.)
- Hommel, B., & Nattkemper, D. (2011). *Handlungspsychologie: Planung und Kontrolle intentionalen Handelns*. Springer: Heidelberg. (Lehrbuch zu den verschiedensten Aspekten der Handlungssteuerung)
- Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: What actions tell the self*. Oxford: Oxford University Press. (Einführung in die Frage, wie Handlungen repräsentiert sind, mit besonderem Fokus auf antizipative Aspekte der Handlungssteuerung.)
- Kiesel, A., Steinhauser, Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A.M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching - A review. *Psychological Bulletin*, 136, 849-874. (Aktueller Überblick über die Literatur zum Aufgabenwechsel.)
- Meyer, D. E., & Kieras, E. D. (1997). *A computational theory of executive cognitive processes and multiple task performance: Part 1, Basic mechanisms*. Psychological Review, 104, 3–75. (Skizze eines umfassenden Modells menschlicher Handlungskontrolle mit Betonung auf Doppeltätigkeiten.)
- Pashler, H. (1994). *Dual-task interference in simple tasks: Data and theory*. Psychological Bulletin, 116, 220–244. (Überblicksartikel von Arbeiten zur Kontrolle von Doppeltätigkeiten.)
- Passingham, R. (1993). *The frontal lobes and voluntary action*. Oxford University Press. (Allgemeiner, breiter Überblick von Arbeiten und theoretischen Modellen der Funktion corticaler Strukturen bei der Handlungsplanung.)
- Prinz, W. (2014) (Hrsg.), *Experimentelle Handlungsforschung*. Kohlhammer. (Bündel aktueller Übersichten über verschiedene Aspekte der Handlungssteuerung.)
- Prinz, W., Beisert, M., & Herwig, A. (Eds.), *Action science: Foundations of an emerging discipline*. Cambridge, MA: MIT Press. (Bündel interessanter Texte zu verschiedenen Fragen der Handlungssteuerung und Handlungskontrolle.)
- Rosenbaum, D. A. (2009). *Human motor control (2<sup>nd</sup> edition)*. San Diego, CA: Academic Press. (Lehrbuch mit einem Überblick einer Vielzahl von Arbeiten zur Programmierung menschlicher Handlungen.)
- **Webseiten**
- <http://actiontheory.free.fr/> – Information über philosophische Handlungstheorien.
- <http://www.baddesigns.com/> – Beispiele von Alltagsdesign, das zu Handlungsfehlern einlädt.
- <http://www.dualtask.org/> – Demonstrationen von Doppelaufgabenexperimenten und Verweise auf Berichte über Doppelaufgaben aus US-amerikanischen Tageszeitungen.

- <http://psychclassics.yorku.ca/James/Principles/prin26.htm> – W. James' wichtiges Kapitel über den Willen.
- <http://www.umich.edu/~bcalab/multitasking.html> – Sammlung einiger Radio- und Fernsehinterviews und Berichte über Multitasking aus US-amerikanischen Tageszeitungen.
- <http://robohow.eu/> – Informationen über ein EU Projekt, das zum Ziel hat, einen humanoiden Roboter mit menschlichen Handlungsfertigkeiten auszustatten.

## Literatur

- Abeles, M. (1991). *Corticonics: Neural circuits of the cerebral cortex*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ach, N. (1910). *Über den Willensakt und das Temperament*. Leipzig: Quelle und Meyer.
- Aglioti, S., Goodale, M. A., & DeSouza, J. F. X. (1995). Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand. *Current Biology*, 5, 679–685.
- Allport, D. A. (1993). Attention and control: Have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-five years. In D. E. Meyer, & S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and performance XIV* (S. 183–218). Cambridge, MA: MIT Press.
- Allport, D. A., & Wylie, G. (2000). 'Task-switching', stimulus-response bindings and negative priming. In S. Monsell, & J. Driver (Hrsg.), *Attention and performance XVIII: Control of Cognitive Processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Allport, D. A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà, & M. Moscovitch (Hrsg.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (S. 421–452). Cambridge, MA: MIT Press.
- Aschersleben, G., Stenneken, P., Cole, J., & Prinz, W. (2002). Timing mechanisms in sensorimotor synchronization. In W. Prinz, & B. Hommel (Hrsg.), *Attention and performance XIX: Common mechanisms in perception and action* (S. 227–244). Oxford: Oxford University Press.
- Baars, B. J. (1980). Eliciting predictable speech errors in the laboratory. In V. A. Fromkin (Hrsg.), *Errors in linguistic performance: Slips of the tongue, ear, pen, and hand* (S. 307–318). New York: Academic Press.
- Baars, B. J. (1988). *A cognitive theory of consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bard, C., Paillard, J., Lajoie, Y., Fleury, M., Teasdale, N., Forget, R., & Lamarre, Y. (1992). Role of the afferent information in the timing of motor commands: A comparative study with a deafferent patient. *Neuropsychologia*, 30, 201–206.
- Bialystok, E. (2001). *Bilingualism in development: Language, literacy, and cognition*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Botvinick, M. M. (2007). Conflict monitoring and decision making: Reconciling two perspectives on anterior cingulate function. *Cognitive Affective and Behavioral Neuroscience*, 7, 356–366.
- Botvinick, M. M., & Plaut, D. C. (2004). Doing without schema hierarchies: a recurrent connectionist approach to routine sequential action and its pathologies. *Psychological Review*, 111, 395–429.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624–652.
- Bridgeman, B. (2002). Attention and visually guided behavior in distinct systems. In W. Prinz, & B. Hommel (Hrsg.), *Attention and performance XIX: Common mechanisms in perception and action* (S. 120–135). Oxford: Oxford University Press.
- Bridgeman, B., Kirch, M., & Sperling, A. (1981). Segregation of cognitive and motor aspects of visual function using induced motion. *Perception and Psychophysics*, 29, 336–342.
- Brown, P., Salenius, S., Rothwell, J. C., & Hari, R. (1998). Cortical correlate of the Piper rhythm in humans. *Journal of Neurophysiology*, 80, 2911–2917.
- Bullock, D., & Grossberg, S. (1988). Neural dynamics of planned arm movements: Emergent invariants and speed-accuracy properties during trajectory formation. *Psychological Review*, 95, 49–90.
- Burgess, P. W. (2000). Strategy application disorder: The role of the frontal lobes in human multitasking. *Psychological Research*, 63, 279–288.
- Butler, J., & Rovee-Collier, C. (1989). Contextual gating of memory retrieval. *Developmental Psychobiology*, 22, 533–552.
- Carrier, L. M., & Pashler, H. (1995). Attentional limits in memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 1339–1348.
- Chugani, H. T. (1994). Development of regional brain glucose metabolism in relation to behavior and plasticity. In G. Dawson, & K. Fischer (Hrsg.), *Human behavior and the developing brain* (S. 153–175). New York: Guilford.
- Clark, A. (1999). An embodied cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, 3, 345–351.
- Coles, M. G. H., Gratton, G., Bashore, T. R., Eriksen, C. W., & Donchin, E. (1985). A psychophysiological investigation of the continuous flow model of human information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 529–553.
- Décary, A., & Richer, F. (1995). Response selection deficits in frontal excisions. *Neuropsychologia*, 33, 1243–1253.
- Decety, & Grèzes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in Cognitive Neuroscience*, 3, 172–178.
- Decety, J., Perani, D., Jeannerod, M., Bettinardi, V., Tadary, B., Woods, R., Mazziotta, J. C., & Fazio, F. (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*, 371, 600–602.
- Deecke, L., Grozinger, B., & Kornhuber, H. H. (1976). Voluntary finger movement in man: Cerebral potentials and theory. *Biological Cybernetics*, 23, 99–119.
- De Jong, R. (1993). Multiple bottlenecks in overlapping task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 965–980.
- De Jong, R. (2000). An intention-activation account of residual switch costs. In S. Monsell, & J. Driver (Hrsg.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (S. 357–376). Cambridge, MA: MIT Press.
- De Jong, R., Berendsen, E., & Cools, R. (1999). Goal neglect and inhibitory limitations: Dissociable causes of interference effects in conflict situations. *Acta Psychologica*, 101, 379–394.
- Dell, G. S. (1986). A spreading activation theory of retrieval in sentence production. *Psychological Review*, 93, 283–321.
- Dell, G. S., Burger, L. K., & Svec, W. R. (1997). Language production and serial order: A functional analysis and a model. *Psychological Review*, 104, 123–147.
- Dewey, J. (1896). The reflex arc concept in psychology. *Psychological Review*, 3, 357–370.
- DeYoe, E. A., & Van Essen, D. C. (1988). Concurrent processing streams in monkey visual cortex. *Trends in Neuroscience*, 11, 219–226.
- Diamond, A. (1985). Development of the ability to use recall to guide action, as indicated by infants' performance on AB. *Child Development*, 56, 868–883.
- Diamond, A. (1990). Developmental time course in human infants and infant monkeys, and the neural bases of inhibitory control of reaching. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 608, 637–676.
- Diamond, A., & Gilbert, J. (1989). Development as progressive inhibitory control of action: Retrieval of a contiguous object. *Cognitive Development*, 4, 223–249.
- Diamond, A., & Goldman-Rakic, P. S. (1986). Comparative development in human infants and infant rhesus monkeys of cognitive functions that depend on prefrontal cortex. *Society for Neuroscience Abstracts*, 12, 742.
- Dixon, P. (1981). Algorithms and selective attention. *Memory and Cognition*, 9, 177–184.
- Dixon, P., & Just, M. A. (1986). A chronometric analysis of strategy preparation in choice reactions. *Memory and Cognition*, 14, 488–500.
- Donkelaar, P. van, & Franks, I. M. (1991). Preprogramming vs. on-line control in simple movement sequences. *Acta Psychologica*, 77, 1–19.
- Drewe, E. A. (1975). An experimental investigation of Luria's theory on the effects of frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 13, 421–429.
- Dutta, A., Schweickert, R., Choi, S., & Proctor, R. W. (1995). Cross-task cross talk in memory and perception. *Acta Psychologica*, 90, 49–62.
- Eenshuistra, R. M., Weidema, M. A., & Hommel, B. (2004). Development of the acquisition and control of action-effect associations. *Acta Psychologica*, 115, 185–209.
- Egner, T., & Hirsch, J. (2005). Cognitive control mechanisms resolve conflict through cortical amplification of task-relevant information. *Nature Neuroscience*, 8, 1784–1790.

- 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.
- Engel, A. K., Roelfsema, P. R., Fries, P., Brecht, M., & Singer, W. (1997). Role of the temporal domain for response selection and perceptual binding. *Cerebral Cortex*, 7, 571–582.
- 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, 143–149.
- Eriksen, B. A., Eriksen, C. W., & Hoffman, J. E. (1986). Recognition memory and attentional selection: Serial scanning is not enough. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 476–483.
- Eriksen, C. W., Pollack, M. D., & Montague, W. E. (1970). Implicit speech: Mechanism in perceptual encoding? *Journal of Experimental Psychology*, 84, 502–507.
- Eriksen, C. W., Coles, M. G. H., Morris, L. R., & O'Hara, W. P. (1985). An electromyographic examination of response competition. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23, 165–168.
- Estes, W. K. (1972). An associative basis for coding and organization in memory. In A. W. Melton, & E. Martin (Hrsg.), *Coding processes in human memory* (S. 161–190). New York: Wiley.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73, 2608–2611.
- Fagen, J. W., Rovee-Collier, C. K., & Kaplan, M. G. (1976). Psychophysical scaling of stimulus similarity in 3-month-old infants and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 22, 272–281.
- Fagot, C., & Pashler, H. (1992). Making two responses to a single object: Implications for the central attentional bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 1058–1079.
- Fimm, B., Bartl, G., Zimmermann, P., & Wallesch, C.-W. (1994). Different mechanisms underly shifting set on external and internal cues in Parkinson's disease. *Brain and Cognition*, 25, 287–304.
- Fischer, R., & Hommel, B. (2012). Deep thinking increases task-set shielding and reduces shifting flexibility in dual-task performance. *Cognition*, 123, 303–307.
- Fischman, M. G. (1984). Programming time as a function of number movement parts and changes in movement direction. *Journal of Motor Behavior*, 16, 405–423.
- Fischman, M. G., & Lim, C. (1991). Influence of extended practice on programming time, movement time, and transfer in simple target-striking responses. *Journal of Motor Behavior*, 23, 39–50.
- Fournier, L. R., Wiediger, M. D., McMeans, R., Mattson, P. S., Kirkwood, J., & Herzog, T. (2010). Holding a manual response sequence in memory can disrupt vocal responses that share semantic features with the manual response. *Psychological Research*, 74, 359–369.
- Fromkin, V. A. (Hrsg.). (1980). *Errors in linguistic performance: Slips of the tongue, ear, pen, and hand*. New York: Academic Press.
- Gallistel, C. R. (1980). *The organization of action*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Garcia-Colera, A., & Semjen, A. (1987). The organization of rapid movement sequences as a function of sequence length. *Acta Psychologica*, 66, 237–250.
- Garcia-Colera, A., & Semjen, A. (1988). Distributed planning of movement sequences. *Journal of Motor Behavior*, 20, 341–367.
- Garrett, M. F. (1982). Production of speech: Observations from normal and pathological language use. In A. W. Ellis (Hrsg.), *Normality and pathology in cognitive functions* (S. 19–76). London: Academic Press.
- Gentner, D. R. (1983). The acquisition of typewriting skill. *Acta Psychologica*, 54, 233–248.
- Gentner, D. R., Grudin, J. und Conway, E. (1980). Finger movements in transcription typing. (Technical Report 8001) La Jolla, CA: University of California, San Diego, Center for Human Information Processing.
- Georgopoulos, A. P. (1990). Neurophysiology of reaching. In M. Jeannerod (Hrsg.), *Attention and performance XIII: Motor representation and control* (S. 227–263). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: Performance of children 31/2–7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53, 129–153.
- Ghez, C., Hening, W., & Favilla, M. (1990). Parallel interacting channels in the initiation and specification of motor response features. In M. Jeannerod (Hrsg.), *Attention and performance XIII: Motor representation and control* (S. 265–293). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gibson, J. J. (1941). A critical review of the concept of set in contemporary experimental psychology. *Psychological Bulletin*, 38, 781–817.
- Goodman, D., & Kelso, J. A. S. (1980). Are movements prepared in parts? Not under compatible (naturalized) conditions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 475–495.
- Gopher, D. (1996). Attention control: Explorations of the work of an executive controller. *Cognitive Brain Research*, 5, 23–38.
- Gopher, D. (1984). S-Oh-R: Of stages! Oh resources! In A. F. Sanders, & W. Prinz (Hrsg.), *Cognition and motor processes* (S. 231–253). Berlin: Springer.
- Greeno, J. G., & Simon, H. A. (1974). Processes for sequence production. *Psychological Review*, 81, 187–198.
- Greenwald, A. G. (1970). Sensory feedback mechanisms in performance control: With special reference to the ideomotor mechanism. *Psychological Review*, 77, 73–99.
- Greenwald, A. G. (1972). On doing two things at once: Time sharing as a function of ideomotor compatibility. *Journal of Experimental Psychology*, 94, 52–57.
- Greenwald, A. G. (2003). On doing two things at once: III. Confirmation of perfect timesharing when simultaneous tasks are ideomotor compatible. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 859–868.
- Greenwald, A. G. (2004). On doing two things at once: IV. Necessary and sufficient conditions: Rejoinder to Lien, Proctor, and Ruthruff (2003). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 632–636.
- Grudin, J. (1983). Non-hierarchical specification of components in transcription typewriting. *Acta Psychologica*, 54, 249–262.
- Harless, E. (1861). Der Apparat des Willens. *Zeitschrift fuer Philosophie und philosophische Kritik*, 38, 50–73.
- Harrington, D. L., & Haaland, K. Y. (1987). Programming sequences of hand postures. *Journal of Motor Behavior*, 19, 77–95.
- Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a „memory drum“ theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, 31, 448–458.
- Heuer, H. (1981). Fast aiming movements with the left and right hand: Evidence for two-process theories of motor control. *Psychological Research*, 43, 81–96.
- Heuer, H. (1986). Über die Annahme relations-abhängiger Vorprogrammierung bei der Interpretation von Reaktionszeitexperimenten zur motorischen Vorbereitung. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 33, 563–586.
- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11–26.
- Hirst, W., & Kalmar, D. (1987). Characterizing attentional resources. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116, 68–81.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Hoffmann, J., Sebald, A., & Stöcker, C. (2001). Irrelevant response effects improve serial learning in serial reaction time tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, 470–482.
- Holender, D. (1980). Interference between a vocal and a manual response to the same stimulus. In G. E. Stelmach, & J. Requin (Hrsg.), *Tutorials in motor behavior* (S. 421–431). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Holland, C., & Rathod, V. (2013). Influence of personal mobile phone ringing and usual intention to answer on driver error. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 793–800.
- Hommel, B. (1996a). The cognitive representation of action: Automatic integration of perceived action effects. *Psychological Research*, 59, 176–186.
- Hommel, B. (1996b). S-R compatibility effects without response uncertainty. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 546–571.
- Hommel, B. (1997). Toward an action-concept model of stimulus-response compatibility. In B. Hommel, & W. Prinz (Hrsg.), *Theoretical issues in stimulus-response compatibility* (S. 281–320). Amsterdam: Elsevier.



- Hommel, B. (1998a). Automatic stimulus-response translation in dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1368–1384.
- Hommel, B. (1998b). Event files: Evidence for automatic integration of stimulus-response episodes. *Visual Cognition*, 5, 183–216.
- Hommel, B. (2000a). Intentional control of automatic stimulus-response translation. In Y. Rossetti, & A. Revonsuo (Hrsg.), *Interaction between dissociable conscious and nonconscious processes* (S. 223–244). Amsterdam: John Benjamins.
- Hommel, B. (2000b). The prepared reflex: Automaticity and control in stimulus-response translation. In S. Monsell, & J. Driver (Hrsg.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (S. 247–273). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hommel, B. (2009). Action control according to TEC (theory of event coding). *Psychological Research*, 73, 512–526.
- Hommel, B. (2010). Grounding attention in action control: The intentional control of selection. In B. J. Bruya (Hrsg.), *Effortless attention: A new perspective in the cognitive science of attention and action* (S. 121–140). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hommel, B., Müseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 849–878.
- Hull, C. L. (1931). Goal attraction and directing ideas conceived as habit phenomena. *Psychological Review*, 38, 487–506.
- Hulstijn, W., & Galen, G. P. van (1983). Programming in handwriting: Reaction time and movement time as a function of sequence length. *Acta Psychologica*, 54, 23–49.
- Hulstijn, W., & Galen, G. P. van (1988). Levels of motor programming in writing familiar and unfamiliar symbols. In A. M. Colley, & J. K. Beech (Hrsg.), *Cognition and action in skilled behavior* (S. 65–85). Amsterdam: North-Holland, Elsevier.
- Hyman, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 45, 188–196.
- Inhoff, A. W. (1986). Preparing sequences of saccades under choice reaction conditions: Effects of sequence length and context. *Acta Psychologica*, 61, 211–228.
- Ivry, R. B., Franz, E. A., Kingstone, A., & Johnston, J. C. (1998). The psychological refractory period effect following callosotomy: Uncoupling of lateralized response codes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 463–480.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York, NY: Dover.
- Jeannerod, M. (1981). Intersegmental coordination during reaching at natural objects. In J. Long, & A. Baddeley (Hrsg.), *Attention and performance IX* (S. 153–169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jeannerod, M. (1984). The contribution of open-loop and closed-loop control modes in prehension movements. In S. Kornblum, & J. Requin (Hrsg.), *Preparatory states and processes: Proceedings of the franco-american conference* (S. 323–337). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 187–245.
- Jeannerod, M., & Biguer, B. (1982). Visuomotor mechanisms in reaching within extrapersonal space. In D. J. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Hrsg.), *Analysis of visual behavior* (S. 387–409). Cambridge: MIT Press.
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*, 89, [Bitte erste Seitenzahl angeben.firstpage](#).
- Jolicoeur, P. (1999). *Capacity demands of accessing short-term memory*. Paper presented at the Ninth Annual Meeting of the Canadian Society for Brain, Behaviour, and Cognitive Science, Edmonton, Alberta, Canada, June 18–19.
- Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36, 138–202.
- Jolicoeur, P., Dell'Acqua, R., & Crebolder, J. (2000). Multitasking performance deficits: Forging some links between the attentional blink and the psychological refractory period. In S. Monsell, & J. Driver (Hrsg.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (S. 309–330). Cambridge, MA: MIT Press.
- Jolicoeur, P., Tombu, M., Oriet, C., & Stevanovski, B. (2002). From perception to action: Making the connection. In W. Prinz, & B. Hommel (Hrsg.), *Attention and performance XIX: Common mechanisms in perception and action* (S. 558–586). Oxford: Oxford University Press.
- Kachergis, G., Wyatte, D., O'Reilly, R. C., Kleijn, R. de, & Hommel, B. (2014). A continuous time neural model for sequential action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 369, 20130623. doi:10.1098/rstb.2013.0623.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kalaska, J. F., & Hyde, M. L. (1985). Area 4 and area 5: Differences between the load direction-dependent discharge variability of cells during active postural fixation. *Experimental Brain Research*, 59, 197–202.
- Kalnins, I. V., & Bruner, J. S. (1973). The coordination of visual observation and instrumental behavior in early infancy. *Perception*, 2, 307–314.
- Karlin, L., & Kerstenbaum, R. (1968). Effects of number of alternatives on the psychological refractory period. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 167–178.
- Keele, S. W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387–403.
- Keele, S. W., & Posner, M. I. (1968). Processing of visual feedback in rapid movements. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 155–158.
- Keele, S. W., Cohen, A., & Ivry, R. (1990). Motor programs: Concepts and issues. In M. Jeannerod (Hrsg.), *Attention and performance XIII: Motor representation and control* (S. 77–110). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W., Cho, R., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, 303, 1023–1026.
- Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching – A review. *Psychological Bulletin*, 136, 849–874.
- Klapp, S. T., & Wyatt, E. P. (1976). Motor programming within a sequence of responses. *Journal of Motor Behavior*, 8, 19–26.
- Kleijn, R. de, Kachergis, G., & Hommel, B. (2014). Everyday robotic action: Lessons from human action control. *Frontiers in Neurobotics*, 8, 13.
- Kluwe, R. H. (1997). Intentionale Steuerung kognitiver Aktivität. *Kognitionswissenschaft*, 6, 53–69.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (1990). *Neuropsychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kornbrot, D. E. (1989). Organisation of keying skills: The effect of motor complexity and number of units. *Acta Psychologica*, 70, 19–41.
- Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging*, 15, 126–147.
- Kristeva-Feige, R., Feige, B., Makeig, S., Ross, B., & Elbert, T. (1993). Oscillatory brain activity during a motor task. *NeuroReport*, 4, 1291–1294.
- Kühn, S., Keizer, A., Rombouts, S. A. R. B., & Hommel, B. (2011). The functional and neural mechanism of action preparation: Roles of EBA and FFA in voluntary action control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 214–220.
- Kutas, M., & Donchin, E. (1980). Preparation to respond as manifested by movement-related brain potentials. *Brain Research*, 202, 95–115.
- Lashley, K. S. (1917). The accuracy of movement in the absence of excitation from the moving organ. *American Journal of Physiology*, 43, 169–194.
- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order in behavior. In L. A. Jeffress (Hrsg.), *Cerebral mechanisms in behavior* (S. 112–146). New York: John Wiley und Sons.
- Lee, T. D., Elliott, D., & Carnahan, H. (1987). The preparation of actions and parameters of action: A fixed or variable process? *Acta Psychologica*, 66, 83–102.
- Leonard, J. A. (1958). Partial advance information in a choice reaction task. *Genetic Psychology*, 49, 89–96.
- Lépine, D., Glencross, D., & Requin, J. (1989). Some experimental evidence for and against a parametric conception of movement programming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 347–362.
- Lewin, K. (1922). Das Problem der Willensmessung und das Grundgesetz der Assoziation II. *Psychologische Forschung*, 2, 65–140.
- Lhermitte, F. (1983). „Utilization behaviour“ and its relation to lesions of the frontal lobes. *Brain*, 106, 237–255.
- Livesey, D. J., & Morgan, G. A. (1991). The development of response inhibition in 4- and 5-year-old children. *Australian Journal of Psychology*, 43, 133–137.
- Logan, G. D. (1978). Attention in character-classification tasks: Evidence for the automaticity of component stages. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107, 32–63.

- Logan, G. D. (1980). Short-term memory demands of reaction-time tasks that differ in complexity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6, 375–389.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95, 492–527.
- Logan, G. D., & Bundesen, C. (2003). Clever homunculus: Is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 575–599.
- Logan, G. D., & Burkell, J. (1986). Dependence and independence in responding to double stimulation: A comparison of stop, change, and dual-task paradigms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 549–563.
- Logan, G. D., & Schulkind, M. D. (2000). Parallel memory retrieval in dual-task situations: I. Semantic memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 1072–1090.
- Lotze, R. H. (1852). *Medizinische Psychologie oder die Physiologie der Seele*. Leipzig: Weidmannsche Buchhandlung.
- Luria, A. R. (1961). *The role of speech in the regulation of normal and abnormal behavior*. New York: Pergamon.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic.
- MacKay, D. G. (1987). *The organization of perception and action*. New York: Springer.
- MacKay, W. A. (1997). Synchronized neuronal oscillations and their role in motor processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 176–183.
- MacNeilage, P. F. (1970). Motor control of serial ordering of speech. *Psychological Review*, 77, 182–196.
- Malsburg, C. von der (1981). *The correlation theory of brain function. Internal report*. Göttingen: Max-Planck Institute for Biophysical Chemistry.
- Malsburg, C. von der (1995). Binding in models of perception and brain function. *Current Opinion in Neurobiology*, 5, 520–526.
- Mayr, U., & Keele, S. W. (2000). Changing internal constraints on action: The role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 4–26.
- Mayr, U., & Kliegl, R. (2000). Task-set switching and long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26, 1124–1140.
- McCann, R. S., & Johnston, J. C. (1992). Locus of the single-channel bottleneck in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 471–484.
- McIntosh, R. D., & Schenk, T. (2009). Two visual streams for perception and action: current trends. *Neuropsychologia*, 47, 1391–1396.
- Mehta, B., & Schaal, S. (2002). Forward models in visuomotor control. *Journal of Neurophysiology*, 88, 942–953.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22, 1423–1442.
- Meiran, N. (2000a). Reconfiguration of stimulus task-sets and response task-sets during task-switching. In S. Monsell, & J. Driver (Hrsg.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (S. 377–399). Cambridge, MA: MIT Press.
- Meiran, N. (2000b). Modeling cognitive control in task-switching. *Psychological Research*, 63, 234–249.
- Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component processes in task switching. *Cognitive Psychology*, 41, 211–253.
- Meiran, N., Hommel, B., Bibi, U., & Ben-Dov, I. (2002). Consciousness and control in task switching. *Consciousness and Cognition*, 11, 10–33.
- Melcher, T., Weidema, M., Eenshuistra, R. M., Hommel, B., & Gruber, O. (2008). The neural substrate of the ideomotor principle: An event-related fMRI analysis. *NeuroImage*, 39, 1274–1288.
- Meyer, D. E., & Gordon, P. C. (1985). Speech production: Motor programming of phonetic features. *Journal of Memory and Language*, 24, 3–26.
- Meyer, D. E., & Kieras, E. D. (1997a). A computational theory of executive cognitive processes and multiple task performance: Part 1, Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104, 3–75.
- Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997b). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review*, 104, 749–791.
- Meyer, D. E., Kieras, D. E., Lauber, E., Schumacher, E., Glass, J., Zurbriggen, E., Gmeind, L., & Apfelblat, D. (1995). Adaptive executive control: Flexible multiple-task performance without pervasive immutable response-selection bottlenecks. *Acta Psychologica*, 90, 163–190.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt, Rinehart und Winston.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford: University Press.
- Mischel, H. N., & Mischel, W. (1983). The development of children's knowledge of self-control strategies. *Child Development*, 54, 603–619.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neuroscience*, 6, 414–417.
- Monsell, S. (1986). Programming of complex sequences: Evidence from the timing of rapid speech and other productions. In H. Heuer, & C. Fromm (Hrsg.), *Generation and modulation of action patterns* (S. 72–86). Berlin: Springer.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Hrsg.), *Unsolved mysteries of the mind* (S. 93–148). Hove: Erlbaum.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 134–140.
- Monsell, S., & Driver, J. (Hrsg.). (2000). *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Münsterberg, H. (1889). *Beiträge zur experimentellen Psychologie*. Bd. 1. Freiburg: Mohr.
- Murthy, V. N., & Fetz, E. E. (1992). Coherent 25- to 35-Hz oscillations in the sensorimotor cortex of awake behaving monkeys. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 5670–5674.
- Murthy, V. N., & Fetz, E. E. (1996). Oscillatory activity in sensorimotor cortex of awake monkeys: Synchronization of local field potentials and relation to behavior. *Journal of Neurophysiology*, 76, 3949–3967.
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human information-processing system. *Psychological Review*, 86, 214–255.
- Navon, D., & Miller, J. (1987). Role of outcome conflict in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 435–448.
- Netick, A., & Klapp, S. T. (1994). Hesitations in manual tracking: A single-channel limit in response programming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 766–782.
- Neumann, O. (1987). Beyond capacity: A functional view of attention. In H. Heuer, & A. F. Sanders (Hrsg.), *Perspectives on perception and action* (S. 361–394). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Norman, D. A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88, 1–15.
- Osman, A., Bashore, T. R., Coles, M. G. H., Donchin, E., & Meyer, D. E. (1992). On the transmission of partial information: Inferences from movement-related brain research. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 217–232.
- Owen, A. M., Stern, C. E., Look, R. B., Tracey, I., Rosen, B. R., & Petrides, M. (1993). Functional organization of spatial and nonspatial working memory processing within the human lateral frontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 95, 7721–7726.
- Pashler, H. (1994a). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220–244.
- Pashler, H. (1994b). Graded capacity-sharing in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 330–342.
- Pashler, H. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge: MIT Press.
- Pashler, H., & Christian, C. (1996). Bottlenecks in planning and producing manual, vocal, and foot responses. Unveröffentlichtes Manuskript. [http://www.pashler.com/Articles/techreport/Pashler\\_Christian\\_Techreport1994.pdf](http://www.pashler.com/Articles/techreport/Pashler_Christian_Techreport1994.pdf)
- Pashler, H., & Johnston, J. C. (1989). Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41A, 19–45.
- Passingham, R. (1993). *The frontal lobes and voluntary action*. Bitte Verlagsort angeben.publisherlocation: Oxford University Press.
- Perret, E. (1974). The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in verbal categorical behavior. *Neuropsychologia*, 12, 323–330.

- Pfurtscheller, G., Flotzinger, D., & Neuper, C. (1994). Differentiation between finger, toe and tongue movement in man based on 40 Hz EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 90, 456–460.
- Portier, S. J., & Galen, G. P. van (1992). Immediate vs. postponed visual feedback in practising a handwriting task. *Human Movement Science*, 11, 563–592.
- Portier, S. J., Galen, G. P. van, & Meulenbroek, R. G. J. (1990). Practice and the dynamics of handwriting performance: Evidence for a shift of motor programming load. *Journal of Motor Behavior*, 22, 474–492.
- Potter, J. M. (1980). What was the matter with Dr. Spooner? In V. A. Fromkin (Hrsg.), *Errors in linguistic performance* (S. 13–34). New York: Academic Press.
- Povel, D., & Collard, R. (1982). Structural factors in patterned finger tapping. *Acta Psychologica*, 52, 107–123.
- Prablanc, C., & Jeannerod, M. (1975). Corrective saccades: Dependence on retinal reafferent signals. *Vision Research*, 15, 465–469.
- Prablanc, C., & Pélissier, D. (1990). Gaze saccade orienting and hand pointing are locked to their goal by quick internal loops. In M. Jeannerod (Hrsg.), *Attention and performance XIII* (S. 653–676). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prinz, W. (1987). Ideo-motor action. In H. Heuer, & A. F. Sanders (Hrsg.), *Perspectives on perception and action* (S. 47–76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prinz, W. (1997). Why Donders has led us astray. In B. Hommel, & W. Prinz (Hrsg.), *Theoretical issues in stimulus-response compatibility* (S. 247–267). Amsterdam: Elsevier.
- Proctor, R. W., & Reeve, T. G. (1986). A caution regarding use of the hint procedure to determine whether partial stimulus information activates response. *Perception and Psychophysics*, 40, 110–118.
- Quinn, J. T., & Sherwood, D. E. (1983). Time requirements of changes in program and parameter variables in rapid ongoing movements. *Journal of Motor Behavior*, 15, 163–178.
- Rabbitt, P. (1997). Introduction: Methodologies and models in the study of executive function. In P. Rabbitt (Hrsg.), *Methodology of frontal and executive function* (S. 1–38). Hove: Psychology Press.
- Requin, J. (1992). From action representation to movement control. In G. E. Stelmach, & J. Requin (Hrsg.), *Tutorials in motor behavior II* (S. 159–179). Amsterdam: Elsevier.
- Roberts, A. C., Robbins, T. W., & Weiskrantz, L. (1998). *The prefrontal cortex: Executive and cognitive functions*. Oxford: Oxford University Press.
- Rochat, P., & Striano, T. (1999). Emerging self-exploration by 2-month-old infants. *Developmental Science*, 2, 206–218.
- Roelfsema, P. R., Engel, A. K., König, P., & Singer, W. (1997). Visuomotor integration is associated with zero time-lag synchronization among cortical areas. *Nature*, 385, 157–161.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Cost of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 124, 207–231.
- Rogers, R. D., Sahakian, B. J., Hodges, J. R., Polkey, C. E., Kennard, C., & Robbins, T. W. (1998). Dissociating executive mechanisms of task control following frontal lobe damage and Parkinson's disease. *Brain*, 121, 815–842.
- Rohrer, D., Pashler, H., & Etcheagaray, J. (1998). When two memories can and cannot be retrieved concurrently. *Memory and Cognition*, 26, 731–739.
- Rosenbaum, D. A. (1980). Human movement initiation: Specification of arm, direction and extent. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 444–474.
- Rosenbaum, D. A. (1987). Successive approximations to a model of human motor programming. *Psychology of Learning and Motivation*, 21, 153–182.
- Rosenbaum, D. A. (1991). *Human motor control*. San Diego, CA: Academic Press.
- Rosenbaum, D. A., & Kornblum, S. (1982). A priming method for investigating the selection of motor responses. *Acta Psychologica*, 51, 223–243.
- Rosenbaum, D. A., & Krist, H. (1993). Vorbereitung von Bewegungen. In H. Heuer, & S. W. Keele (Hrsg.), *Psychomotorik, Enzyklopädie der Psychologie, Serie Kognition* (Bd. 3, S. 3–85). Göttingen: Hogrefe.
- Rosenbaum, D. A., Kenny, S. B., & Derr, M. A. (1983). Hierarchical control of rapid movement sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 86–102.
- Rosenbaum, D. A., Inhoff, A. W., & Gordon, A. M. (1984). Choosing between movement sequences: A hierarchical editor model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 372–393.
- Rosenbaum, D. A., Weber, R. J., Hazelett, W. M., & Hindorff, V. (1986). The parameter remapping effect in human performance: Evidence from tongue twisters and finger fumlbers. *Journal of Memory and Language*, 25, 710–725.
- Rosenbaum, D. A., Hindorff, V., & Munro, E. M. (1987). Scheduling and programming of rapid finger sequences: Tests and elaborations of the hierarchical editor model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 193–203.
- Rosenbaum, D. A., Vaughan, J., Barnes, H. J., & Jorgensen, M. J. (1992). Time course of movement planning: Selection of hand grips for object manipulation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 1058–1073.
- Rosenbaum, D. A., Loukopoulos, L. D., Meulenbroek, R. G. J., Vaughan, J., & Engelbrecht, S. (1995). Planning reaches by evaluating stored postures. *Psychological Review*, 102, 28–67.
- 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 (Hrsg.), *Attention und performance XIX: Common mechanisms in perception and action* (S. 62–119). Oxford: Oxford University Press.
- Rossetti, Y., & Régner, C. (1995). Representations in action: Pointing to a target with various representations. In B. G. Bardy, R. J. Bootsma, & Y. Guiard (Hrsg.), *Studies in perception and action III* (S. 233–236). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Roth, K. (1988). Investigations on the basis of the generalized motor programme hypothesis. In O. G. Meijer, & K. Roth (Hrsg.), *The motor-action controversy* (S. 261–288). Amsterdam: North-Holland.
- Rothwell, J. C., Traub, M. M., Day, B. L., Obeso, J. A., Thomas, P. K., & Marsden, C. D. (1982). Manual motor performance in a deafferented man. *Brain*, 105, 515–542.
- Rovee, C. K., & Rovee, D. T. (1969). Conjugate reinforcement in infant exploratory behavior. *Journal of Experimental Child Psychology*, 8, 33–39.
- Rovee-Collier, C., Sullivan, M. W., Enright, M. K., Lucas, D., & Fagen, J. W. (1980). Reactivation of infant memory. *Science*, 208, 1159–1161.
- Rubinstein, J., Meyer, D. E., & Evans, J. E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 763–797.
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1982). Simulating a skilled typist: A study of skilled cognitive-motor performance. *Cognitive Science*, 6, 1–36.
- Ruthruff, E., Johnston, J. C., & Van Selst, M. (2001). Why practice reduces dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 3–21.
- Ruthruff, E., Johnston, J. C., & Remington, R. W. (2009). How strategic is the central bottleneck: Can it be overcome by trying harder? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 1368–1384.
- Salenius, S., Salmelin, R., Neuper, C., Pfurtscheller, G., & Hari, R. (1996). Human cortical 40 Hz rhythm is closely related to EMG rhythmicity. *Neuroscience Letters*, 213, 75–78.
- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53, 61–97.
- Sanes, J. N., & Donoghue, J. P. (1993). Oscillations in local field potentials of the primate motor cortex during voluntary movement. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90, 4470–4474.
- Sarno, K. J., & Wickens, C. D. (1995). Role of multiple resources in predicting time-sharing efficiency: Evaluation of three workload models in a multiple-task setting. *International Journal of Aviation Psychology*, 5, 107–130.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225–260.
- Schwarz, G. (1933). Über Rückfälligkeit bei Umgewöhnung: 2. Über Handlungs-ganzheiten und ihre Bedeutung für die Rückfälligkeit. *Psychologische Forschung*, 18, 143–190.
- Schweickert, R. (1978). A critical path generalization of the additive factor method: Analysis of a Stroop task. *Journal of Mathematical Psychology*, 18, 105–139.
- Semjen, & Garcia-Colera, A. (1986). Planning and timing of finger-tapping sequences with a stressed element. *Journal of Motor Behavior*, 18, 287–322.
- Semjen, A., & Gottsdanker, R. (1991). Structural facilitation of movement sequence planning. In J. Requin, & G. E. Stelmach (Hrsg.), *Tutorials in motor neuroscience* (S. 397–412). Netherlands: Kluwer.



- Shaffer, L. H. (1975). Control processes in typing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 27A, 419–432.
- Shaffer, L. H. (1991). Cognition and motor programming. In J. Requin, & G. E. Stelmach (Hrsg.), *Tutorials in motor neuroscience* (S. 371–383). Netherlands: Kluwer.
- Sideaway, B. (1994). The interaction of response complexity and instructional set. *Journal of Motor Behavior*, 26, 13–17.
- Singer, W. (1994). The organization of sensory motor representations in the neo-cortex: A hypothesis based on temporal coding. In C. Umiltà, & M. Moscovitch (Hrsg.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (S. 77–107). Cambridge, MA: MIT Press.
- Singer, W. (2011). Dynamic formation of functional networks by synchronization. *Neuron*, 69, 191–193.
- Smith, M. C. (1969). The effect of varying information on the psychological refractory period. *Acta Psychologica*, 30, 220–231.
- Spijkers, W. (1993). *Sehen und Handeln*. Aachen: Shaker.
- Stablum, F., Leonardi, G., Mazzoldi, M., Umiltà, C., & Morra, S. (1994). Attention and control deficits following closed head injury. *Cortex*, 30, 603–618.
- Stelmach, G. E., & Teulings, H. (1983). Response characteristics of prepared and restructured handwriting. *Acta Psychologica*, 54, 51–67.
- Stelmach, G. E., Mullins, P. A., & Teulings, H. (1984). Motor programming and temporal patterns in handwriting. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 144–157.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donder's method. *Acta Psychologica*, 30, 276–315.
- Sternberg, S., Monsell, S., Knoll, R. L., & Wright, C. E. (1978). The latency and duration of rapid movement sequences: Comparisons of speech and typewriting. In G. E. Stelmach (Hrsg.), *Information processing in motor control and learning* (S. 117–152). New York: Academic Press.
- Sternberg, S., Wright, C. E., Knoll, R. L., & Monsell, S. (1982). Motor programs in rapid speech. In R. Cole (Hrsg.), *Perception and production of fluent speech* (S. 507–534). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- St James, J. D. (1990). Observations on the microstructure of response conflict. *Perception and Psychophysics*, 48, 517–524.
- Stoet, G., & Hommel, B. (1999). Action planning and the temporal binding of response codes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1625–1640.
- Stürmer, B., Leuthold, H., Schröter, H., Soetens, E., & Sommer, W. (2002). Control over location-based response activation in the Simon task: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 1345–1363.
- Sudevan, P., & Taylor, D. A. (1987). The cuing and priming of cognitive operations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 89–103.
- Tallon-Baudry, C., & Bertrand, O. (1999). Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 151–162.
- Taub, E., & Berman, A. J. (1968). Movement and learning in the absence of sensory feedback. In S. J. Freedman (Hrsg.), *The neuropsychology of spatially oriented behavior* (S. 173–192). Homewood, IL: Dorsey.
- Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative responses. *Journal of Experimental Psychology*, 14, 1–36.
- Terzuolo, C. A., & Viviani, P. (1980). Determinants and characteristics of motor patterns used for typing. *Neuroscience*, 5, 1085–1103.
- Teulings, H., Thomassen, A. J. W. M., & Galen, G. P. van (1983). Preparation of partly precued handwriting movements: The size of movement units in handwriting. *Acta Psychologica*, 54, 165–177.
- Teulings, H., Mullins, P. A., & Stelmach, G. E. (1986). The elementary units of programming in handwriting. In G. P. van Galen, H. S. R. Kao, & R. Hoosain (Hrsg.), *Graphonomics: Contemporary research in handwriting* (S. 21–32). Amsterdam: Elsevier.
- Treisman, A. M. (1996). The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, 6, 171–178.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Hrsg.), *Analysis of visual behavior* (S. 549–586). Cambridge, MA: MIT Press.
- Van Selst, M., & Jolicoeur, P. (1997). Decision and response. *Cognitive Psychology*, 33, 266–307.
- Van Selst, M., Ruthruff, E., & Johnston, J. C. (1999). Can practice eliminate the psychological refractory period? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1268–1283.
- van Sonderen, J. F., & Denier, G. J. J. van der (1991). Reaction-time-dependent differences in the initial movement direction of fast goal-directed arm movements. *Human Movement Science*, 10, 713–726.
- van Steenbergen, H. van, Band, G. P. H., & Hommel, B. (2009). Reward counteracts conflict adaptation: Evidence for a role of affect in executive control. *Psychological Science*, 20, 1473–1477.
- van Steenbergen, H. van, Band, G. P. H., & Hommel, B. (2010). In the mood for adaptation: How affect regulates conflict-driven control. *Psychological Science*, 21, 1629–1634.
- van Steenbergen, H. van, Band, G.P.H., Hommel, B., Rombouts, S.A.R.B. und Nieuwenhuis, S. (2015). Hedonic hotspots regulate cingulate-driven adaptation to cognitive demands. *Cerebral Cortex*, 25, 1746–1756.
- Verschoor, S. A., Spapé, M., Biro, S., & Hommel, B. (2013). From outcome prediction to action selection: Developmental change in the role of action-effect bindings. *Developmental Science*, 16, 801–814.
- Verschoor, S. A., Weidema, M., Biro, S., & Hommel, B. (2010). Where do action goals come from? Evidence for spontaneous action-effect binding in infants. *Frontiers in Psychology*, 1, 201.
- Verwey, W. B. (1994). Evidence for the development of concurrent processing in a sequential keypressing task. *Acta Psychologica*, 85, 245–262.
- Vidal, F., Bonnet, M., & Macar, F. (1991). Programming response duration in a precueing reaction time paradigm. *Journal of Motor Behavior*, 23, 226–234.
- Ward, L. M. (1982). Determinants of attention to local and global features of visual forms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 562–581.
- Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (2003). Task-switching and long-term priming: Role of episodic stimulus-task bindings in task-shift costs. *Cognitive Psychology*, 46, 361–413.
- Watson, J. S., & Ramey, C. T. (1972). Reactions to response-contingent stimulation in early infancy. *Merrill-Palmer Quarterly*, 18, 219–227.
- 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.
- Wickelgren, W. A. (1969). Context-sensitive coding, associative memory, and serial order in (speech) behavior. *Psychological Review*, 76, 1–15.
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. Nickerson (Hrsg.), *Attention and performance VIII* (S. 239–257). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman, & D. R. Davies (Hrsg.), *Varieties of attention* (S. 63–102). Orlando, FL: Academic Press.
- Wickens, C. D., & Liu, Y. (1988). Codes and modalities in multiple resources: A success and a qualification. *Human Factors*, 30, 599–616.
- Wickens, J., Hyland, B., & Anson, G. (1994). Cortical cell assemblies: A possible mechanism for motor programs. *Journal of Motor Behavior*, 26, 66–82.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 419–433.
- Woodworth, R. S. (1899). The accuracy of voluntary movement. *Psychological Review*, 3, 1–114.
- Wyllie, G., & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of „switch costs“. *Psychological Research*, 63, 212–233.
- Yaniv, I., Meyer, D. E., Gordon, P. C., Huff, C. A., & Sevald, C. A. (1990). Vowel similarity, connectionist models, and syllable structure in motor programming of speech. *Journal of Memory and Language*, 29, 1–26.
- Yantis, S. (2000). Goal-directed and stimulus-driven determinants of attentional control. In S. Monsell, & J. Driver (Hrsg.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (S. 73–103). Cambridge, MA: MIT Press.
- Zelaznik, H. N. (1978). Precueing response factors in choice reaction time: A word of caution. *Journal of Motor Behavior*, 10, 77–79.
- Zelaznik, H. N., & Hahn, R. (1985). Reaction time methods in the study of motor programming: The precueing of hand, digit and duration. *Journal of Motor Behavior*, 17, 190–218.



- Zelazo, P. D., Reznick, J. S., & Piñon, D. E. (1995). Response control and the execution of verbal rules. *Developmental Psychology*, 31, 508–517.
- Zießler, M., Hänel, K., & Hoffmann, J. (1988). Die Programmierung struktureller Eigenschaften von Bewegungsfolgen. *Zeitschrift für Psychologie*, 196, 371–388.
- Zillig, M. (1926). Die Übung der Umstellung. *Zeitschrift für Psychologie*, 100, 18–49.

2452.  
2453.  
2454.  
2455.  
2456.  
2457.  
2458.  
2459.  
2460.  
2461.  
2462.  
2463.  
2464.  
2465.  
2466.  
2467.  
2468.  
2469.  
2470.  
2471.  
2472.  
2473.  
2474.  
2475.  
2476.  
2477.  
2478.  
2479.  
2480.  
2481.  
2482.  
2483.  
2484.  
2485.  
2486.  
2487.  
2488.  
2489.  
2490.  
2491.  
2492.  
2493.  
2494.  
2495.  
2496.  
2497.  
2498.  
2499.  
2500.  
2501.  
2502.  
2503.  
2504.  
2505.  
2506.  
2507.  
2508.

UNCORRECTED PROOFS