

# Antezedente Effektrepräsentationen in der Verhaltenssteuerung

Wilfried Kunde

**Zusammenfassung.** Im Allgemeinen führen wir motorische Aktivitäten aus, ohne darüber nachzudenken, durch welche mentalen Zustände wir unseren Körper willentlich in Bewegung versetzen. Was sind dies für Zustände? Sowohl klassische als auch moderne Formulierungen der ideo-motorischen Hypothese nehmen an, dass es sich um Vorstellungen der sensorischen Effekte der auszuführenden Bewegungen handelt. Der Artikel gibt einen Überblick über den Stand der Forschung zu dieser Annahme. Neben Belegen dafür, dass die Wahrnehmung von Effekten zur Aktivierung der sie verursachenden Bewegungen führt (Induktion), wird schwerpunktmäßig Evidenz dafür vorgestellt, dass Willkürbewegungen tatsächlich eine endogene Aktivierung von Effektrepräsentationen (Antizipation) vorausgeht. Diese Arbeiten erlauben es, eine Reihe von Eigenschaften antizipativer Effektrepräsentationen in der Bewegungssteuerung zu isolieren. Die Gesamtheit der Befunde untermauert die Annahme, dass Repräsentationen sensorischer Effekte unumgängliche Antezedenzen willkürlicher Bewegungen sind. Ein Verständnis willkürlichen Verhaltens wird daher ohne die Untersuchung derartiger Effektrepräsentationen nicht möglich sein. Schlüsselwörter: Verhaltenssteuerung, Handlungsplanung, Psychomotorik

Antecedent effect codes in action control

**Abstract.** In general we move without thinking about the mental states that we use to move our body. What is the nature of these states? Classical as well as more recent formulation of the ideo-motor principle assume, that these states consist of images of the sensory consequences of the to-be-performed movements. The present paper gives an overview over the state of research on this assumption. Apart from evidence showing that the perception of action effects primes the actions that normally produce these effect (induction), I shall focus on evidence showing that performing a voluntary movement is indeed preceded by an internal generation of the effect codes (anticipation). These studies allow inferences on the nature of anticipatory effect codes in action control. Altogether, the evidence shows that sensory effect codes are an inevitable antecedent of voluntary movements. Consequently, a thorough understanding of the mechanisms of voluntary action will not be possible without taking such anticipatory effect codes into account.

Key words: action control, action planning, psychomotor research

Menschliches Verhalten ist im Regelfall nicht reizbestimmt oder gar reflektorisch, sondern praktisch immer zielgerichtet. Wir drücken zum Beispiel einen Lichtschalter, um die Zimmerbeleuchtung einzuschalten, oder wir führen eine Drehbewegung der Hand aus, wenn wir den Schraubverschluss einer Flasche öffnen wollen. Die philosophische Anthropologie sieht in dieser Zielgerichtetheit sogar eine Sonderstellung des Menschen in der Evolution. Anders als das Tier, das selektiv auf die Auslösereize seiner art-spezifischen Umwelt („Merkwelten“) mit vorgefertigten Erbkoordinationen reagiert („Wirkwelten“, von Uexküll, 1921), ist das menschliche Verhaltensrepertoire außerordentlich flexibel (Gehlen, 1997), aber dafür weniger spezifisch an vorgegebene Umwelten angepasst. Diese Unangepasstheit zwingt das „Mängelwesen“ Mensch dazu, die Umwelt den eigenen Erfordernissen gemäß passend zu machen (Gehlen, 1997). Kurzum, die menschliche Verhaltenssteuerung muss von angetroffenen Umweltzustän-

den absehen können und stattdessen auf die Herstellung beabsichtigter Umweltveränderungen ausgerichtet sein.

Ein Ansatz, der auf möglichst einfache Weise zu erklären versucht, wie zielgerichtetes Verhalten möglich wird, ist in der Psychologie seit Mitte des 19. Jahrhunderts als ideo-motorische (IM) Hypothese bekannt (Harleß, 1861; James, 1890; für einen historischen Überblick vgl. Stock & Stock, 2004). Die Idee ist verblüffend einfach: Es wird angenommen, dass Menschen lernabhängig Assoziationen zwischen zunächst nur unwillkürlich ausgeführten Bewegungen des Körpers und den damit konsistent einhergehenden sensorischen Effekten aufbauen. Das können sehr unmittelbare und körpernahe Effekte sein, wie die taktil-kinästhetischen Empfindungen eines sich bewegenden Effektors, aber auch mittelbare und körperferne Effekte wie das Aufleuchten der Zimmerbeleuchtung nach Betätigung eines Lichtschalters (vgl. Prinz, 1997).

Diese Bewegungs-Effekt Assoziationen, so die Annahme, sind in beide Richtungen erregbar. Das heißt, die Erregung eines bestimmten motorischen Musters aktiviert Repräsentationen der durch die Bewegung eintretenden sensorischen Effekte, so wie die Erregung bestimmter Ef-

Ich danke Gisa Aschersleben, Katrin Elsner, Joachim Hoffmann, Josef Lukas, Marko Paelecke, Uwe Wolfradt für Diskussionen und Anregungen. Die Arbeit wurde durch Sachbeihilfen der DFG unterstützt (HO 1301/6-4; Ku 1964/1).

fektrepräsentationen die sie verursachenden Bewegungsmuster aktiviert. Der zweite Fall stellt die Funktionsgrundlage für zielgerichtetes Verhalten dar. Denn wenn erst einmal derartige Assoziationen bestehen, sollte durch die Vorstellung eines angestrebten Effektes automatisch diejenige Bewegung auf den Plan gerufen werden, die diesen Effekt erfahrungsgemäß verlässlich erzeugt.

Dass die Auswahl zielgerichteten Verhaltens nur möglich ist, wenn die Effekte des eigenen Verhaltens bekannt sind, ist mehr oder weniger selbstverständlich und sicher keine Neuigkeit. Die kritische und klärungsbedürftige Annahme der IM-Hypothese ist allerdings, dass Bewegungs-Effekt-Assoziationen die *alleinige* Repräsentationsgrundlage von Körperbewegungen darstellen. Das heißt, alle Körperbewegungen sind ausschließlich in Form ihrer beobachtbaren Effekte mental abgebildet (Greenwald, 1970 a; Hommel, Müssler, Aschersleben & Prinz, 2001). Wenn diese Annahme richtig ist, können selbst einfachste Bewegungen nicht unmittelbar in Form motorischer „Kommandos“ (Keele, 1968), „Programme“ (Schmidt, 1975) oder „Parameter“ (Rosenbaum, 1980) kontrolliert werden, sondern nur mittelbar durch Vorstellungen der mit den Bewegungen erzeugten sensorischen Effekte. Anders formuliert, mentale Abbilder sensorischer Effekte sind unumgängliche Antezedenzen<sup>1</sup> jeder willkürlichen Körperbewegung.

Diese Sichtweise weist Verhaltenseffekten eine weitergehende Rolle zu, als es tradierte Konzepte der Verhaltenskontrolle tun. Anders als in lerntheoretischen Konzepten geht es nicht um die bekräftigende Wirkung positiver/negativer Effekte auf den Erwerb von Reiz-Reaktions-Beziehungen (Thorndike, 1927) oder die Auftretenshäufigkeit von Verhaltensweisen (Skinner, 1938), sondern um Assoziationen zwischen Bewegungen und der Identität evaluativ neutraler Effekte. Darüber hinaus war die Annahme, dass ein mentaler Zustand (die Vorwegnahme eines angestrebten Effektes) Einfluss auf das Verhalten gewinnen könnte kein Thema behavioristischer Theorienbildung. Anders als in Feedback-Modellen (Adams, 1971) dienen Handlungseffekte nicht lediglich als Führungsgröße zur Anpassung der Bewegungsausführung, sondern sie werden bereits vor Beginn der Aktionsausführung zum Zwecke der Aktionsspezifizierung rekrutiert. Weiterhin grenzt sich das IM-Prinzip von so genannten Forward-Modellen der Bewegungskontrolle ab (Blakemore, Wolpert & Frith, 2000). Forward-Modelle nehmen an, dass eine Vorhersage der durch einen motorischen output erzeugten sensorischen Veränderungen zum Zweck der Bewegungskontrolle erfolgt. Diese Vorhersage setzt aber voraus, dass schon eine irgendwie andersartige, effekt-unab-

hängige Spezifizierung der Bewegung vorliegt, auf deren Grundlage eine Vorhersage möglich ist. Die IM-Hypothese nimmt dagegen an, dass es gar keine Repräsentation der Bewegung unabhängig von ihren Reafferenzen gibt. Die Aktivierung von Effektrepräsentationen selbst *ist* die Spezifizierung der Bewegung (vgl. Mechsner, 2004 für diesen Standpunkt). Schließlich werden, anders als in der Schematheorie (Schmidt, 1975), sensorische Effekte (sensory consequences) einer Aktion auch nicht getrennt von ihren angestrebten Resultaten (knowledge of result) gespeichert. Vielmehr sind für das IM-Prinzip die sensorischen Effekte und das Resultat identisch. Der Erfolg einer Aktion wird über den Vergleich der antizipierten mit den tatsächlich eingetretenen Effekten ermittelt (für eine Gegenüberstellung vgl. Greenwald, 1970 a; Hoffmann, 2001).

Das ideo-motorische Prinzip hat seinen heuristischen Wert dadurch, dass es auf zunächst sehr einfache Art und Weise erklärt, wie Akteure in die Lage versetzt werden, gezielt diejenigen Verhaltensakte zu generieren, die bestimmte Veränderungen der Wahrnehmungswelt verlässlich erzeugen. Allerdings sitzt auch hier der Teufel im Detail, und so ist es nicht allzu verwunderlich, dass die Überprüfung und Präzisierung dieser rein introspektiv gewonnenen Idee auch noch 100 Jahre nach ihrer Formulierung eine Herausforderung für die „moderne“ experimentelle Psychologie darstellt<sup>2</sup>.

Im Folgenden möchte ich zwei Ansätze zur Elaborierung des IM-Prinzips diskutieren. Zunächst wird ein knapper Abriss über Arbeiten gegeben, die die Wirkung wahrgenommener Effekte (d. h. extern stimulierter Effektkodes) auf die Bewegungssteuerung untersuchen. Dieser Ansatz ist mit einigen Einschränkungen verbunden. Vor allem bleibt die für die Stützung der IM-Hypothese kritische Frage unbeantwortet, ob der willkürlichen Produktion von Bewegungen tatsächlich eine endogene Aktivierung von Effektkodierungen (d.h. Antizipation von Effekten) vorangeht. Deshalb wird ein Schwerpunkt auf Arbeiten liegen,

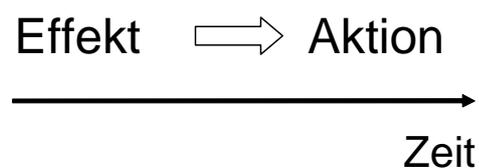


Abbildung 1. Induktion von Aktionen durch Wahrnehmung der Aktionseffekte.

<sup>1</sup> Ich habe an dieser Stelle dem etwas altertümlichen Begriff der Antezedenzen den Vorzug vor dem andernorts verwendeten Begriff der Antizipation gegeben (vgl. Hoffmann, 1993). Der Begriff der Antizipation suggeriert, dass Effekte lediglich als Resultat einer bereits spezifizierten Aktion vorhergesagt werden. Die IM-Hypothese behauptet aber eben darüber hinausgehend, dass eine Aktionspezifikation ohne Spezifikation der Aktionseffekte gar nicht möglich ist.

<sup>2</sup> Das IM-Prinzip unterstellt, dass motorische Ereignisse dieselben (perzeptuellen) Kodierungen verwenden wie Wahrnehmungsereignisse. Das löst auf elegante Weise das Problem, dass sensorische und motorische Ereignisse auf Grund ihrer Verschiedenartigkeit nicht direkt miteinander in Beziehung treten können (sog. „Inkommensurabilität“, Prinz, 1987). Ich kann hier nicht auf die weit reichenden Konsequenzen einer gemeinsamen, perzeptuellen Kodierung für das Wechselspiel von Wahrnehmung und Verhalten eingehen (etwa Einflüsse der Handlungsplanung auf die Wahrnehmung, z.B. Hommel & Müssler, 1997; Kunde & Wühr, 2004; Kunde & Kiesel, im Druck), sondern werde mich auf deren Implikation für die Bewegungsproduktion konzentrieren.

die sich mit dem Nachweis solcher bewegungsvorgelagerter Effektantizipationen beschäftigen. Abschließend werde ich einige offene Fragen für die zukünftige Forschung diskutieren.

## Einflüsse wahrgenommener Effekte auf die Bewegungsproduktion

Ein erster, und nach wie vor einflussreicher, Vorschlag zur experimentellen Prüfung der IM-Hypothese wurde von Greenwald (1970a) gemacht. Wenn motorische Aktionen durch ihre sensorischen Effekte repräsentiert sind, dann sollte die Wahrnehmung solcher Effekte diejenigen Aktionen induzieren, die diese Effekte üblicherweise erzeugen (vgl. Abb. 1). Das ist zum Beispiel beim Phänomen der Imitation der Fall. Neugeborene neigen bereits wenige Stunden nach der Geburt dazu, wahrgenommene Körperbewegungen einer Modellperson selbst auszuführen (Meltzoff & Moore, 1977). Imitation ist insofern ein Induktionsphänomen, als die Wahrnehmung einer Körperbewegung als unmittelbarster, visueller Effekt der Bewegungsausführung verstanden werden kann. Induktionsphänomene gehen über so unmittelbare Effekte wie gesehene Körperbewegungen hinaus. Beispielsweise hat Greenwald (1970b) berichtet, dass es leichter fällt, einen visuell präsentierten Buchstaben nachzuschreiben als nachzusprechen, weil, so seine Interpretation, ein visueller Buchstabe eher den visuellen Effekten des Schreibens entspricht als den auditiven Effekten des Sprechens. Allerdings ist diese Interpretation nicht zwingend. Das Aussprechen eines gesehenen Buchstabens ist möglicherweise deshalb verzögert, weil der Buchstabe erst phonetisch umkodiert werden muss, bevor der Sprechakt initiiert werden kann. Greenwald (1970b) schlägt daher vor, motorische Aktionen mit zusätzlichen sensorischen Effekten im Kontext eines Experiments zu koppeln, um zu prüfen, ob diese neuartigen Effekte nach entsprechender Lernerfahrung ebenfalls aktionsaktivierende Wirkung entfalten.

Diesem Vorschlag ist in späteren Untersuchungen entsprochen worden. Effekte erwerben tatsächlich aktionsinduzierende Wirkung, auch wenn sie prä-experimentell noch nicht mit bestimmten Aktionen verknüpft waren (Hommel, 1996). Der Versuchsaufbau in diesen Studien orientiert sich an folgendem Grundschema. Versuchspersonen führen in einer Lernphase zunächst einfache manuelle Aktionen aus, denen konsistent bestimmte sensorische Ereignisse folgen (z. B. linker Tastendruck → Darbietung eines nach oben weisenden Pfeils auf einem Bildschirm, rechter Tastendruck → Darbietung eines Pfeils der nach unten weist, Kunde, 2004). In einer anschließenden Induktionsphase sollen die Vpn z. B. auf einen Farbreiz mit einem linken oder rechten Tastendruck reagieren. Kurz vor dem Farbreiz wird entweder ein nach oben oder unten weisender Pfeil präsentiert. Die Reaktionszeiten und Fehlerraten sind im Regelfall niedriger, wenn kurz vor dem Farbreiz derjenige Effekt präsentiert wird, den die geforderte Reaktion in der Lernphase erzeugt hatte (z. B. Pfeil nach oben → linker Tastendruck). Offenbar bahnt die Präsentation

des entsprechenden Effektes die mit ihm verknüpfte Reaktion. Das ist hilfreich, wenn diese gebahnte Reaktion tatsächlich gefordert ist, führt aber zu einem Reaktionskonflikt, wenn eine andere als die gebahnte Reaktion erfolgen soll. Diese Logik ist mit einer Reihe unterschiedlicher Reaktionen und Effekte bestätigt worden, z. B. verschiedenen manuellen Reaktionen, die zu mehr oder weniger arbiträren visuellen, auditiven oder kutanen Effekten führen (Beckers, De Houwer & Eeelen, 2002; Elsner & Hommel, 2001; Ziebler & Nattkemper, 2002). Bemerkenswerterweise rufen präsentierte Effekte in solchen Anordnungen ihre assoziierten Aktionen selbst dann auf den Plan, wenn sie unerschwerlich, also für die Versuchsperson nicht bewusst wahrnehmbar dargeboten werden (Kunde, 2004; Wendt-Kuerschner & Goschke, 2004). Das heißt, Effektkodierungen müssen nicht notwendigerweise die Schwelle des Bewusstseins erreichen, damit sie entsprechende Verhaltensbereitschaften nach sich ziehen. Diese Beobachtung legt nahe, dass einmal aktivierte Effektkodierungen die mit ihnen verknüpften Bewegungsmuster automatisch anregen.

Die Induktionslogik ist für die Untersuchung einer Reihe spezifischerer Fragestellungen genutzt worden. So wurde beobachtet, dass Experten eines Fertigungsbereichs besonders ausgeprägte Induktionsphänomene zeigen, was nahe legt, dass stabile Aktions-Effekt-Beziehungen ein wichtiger Bestandteil motorischer Expertise sind. Zum Beispiel bahnt ein gehörter Klavierakkord bei geübten Pianisten unwillkürlich diejenige Handbewegung die zur Erzeugung des Akkords nötig ist (Drost, Rieger, Brass, Gunter & Prinz, 2005), und bei Sekretärinnen bahnt ein visuell präsentierter Buchstabe den Tastendruck durch den dieser Buchstabe üblicherweise getippt wird (Rieger, 2004). Weiterhin ließ sich zeigen, dass durch die Wahrnehmung von Bewegungs-Effekten, die Strukturen des Gehirns aktiv werden, die für Ausführung der Bewegung benötigt werden (Elsner et al., 2002; Haueisen & Knösche, 2001). Schließlich ließen sich in entwicklungspsychologische Studien Hinweise auf effekt-basierte Verhaltensbahnung schon im Alter von einem Jahr nachweisen, was vermuten lässt, dass der Erwerb von Bewegungs-Effekt-Assoziationen durch früh entwickelte Lernmechanismen vermittelt wird (Eenshuistra, Weidema & Hommel, 2004; Hauf, Elsner & Aschersleben, 2004).

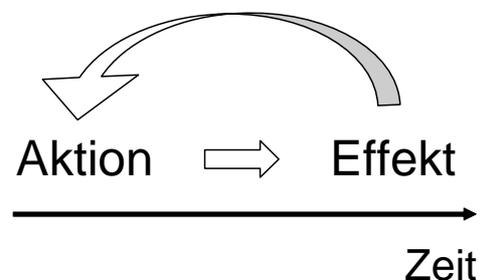


Abbildung 2. Antizipation von Effekten schlägt sich als Einfluss zukünftiger Effekte auf die Aktionsproduktion nieder.

## Einflüsse antizipierter Effekte auf die Bewegungsproduktion

Induktionsstudien stellen sicher eine ermutigende Unterstützung der IM-Hypothese dar. Dennoch sollte die Aussagekraft von Induktionsstudien für die Erklärung willkürlichen Verhaltens, und darauf zielt ja die IM-Hypothese ab, nicht überschätzt werden. Die in ihnen realisierte Situation läuft in gewisser Weise den Erfordernissen zielgerichteten Verhaltens zuwider. Induktionsexperimente fordern von den Probanden die Erzeugung sensorischer Effekte, die ihnen bereits vor der Handlungsausführung als Reize präsentiert werden. Normalerweise dient willkürliches Verhalten aber nicht der Herstellung bereits vorhandener, sondern der Erzeugung zukünftiger Effekte. Wir betätigen einen Lichtschalter ja im Regelfall nicht, weil die Zimmerbeleuchtung angeht, sondern weil wir sie durch Betätigung des Schalters anschalten wollen. Die Aktivierung einer Bewegung durch Wahrnehmung ihrer Effekte ist in gewisser Weise sogar dysfunktional, weil sie die Gefahr der wiederholten Ausführung derselben Aktion, also der Verhaltensperseveration birgt (vgl. Greenwald, 1970 a). Für den Nachweis des von der IM-Hypothese postulierten endogenen Steuerungsmechanismus (Effekt-Antizipation aktiviert entsprechende Bewegung) kann daher die noch so überzeugende Evidenz für exogene Induktion (Effekt-Perzeption aktiviert entsprechende Bewegung) wenig beitragen.

Diesen Nachweis zu führen ist nicht trivial und zugegebenermaßen mit einer gewissen Restunsicherheit verbunden. Effektantizipationen sind weder direkt beobachtbar noch direkt manipulierbar, sondern können nur indirekt aus Verhaltensdaten erschlossen werden. Nichts desto trotz lässt sich die Annahme, dass Vorstellungen sensorischer Effekte die Produktion motorischer Aktionen vermitteln, experimentell zumindest nachhaltig stützen. Die hierzu geeignete Logik ist relativ simpel und in der Motorikforschung zur Untersuchung sog. Antizipationseffekte wiederholt angewandt worden. Es gilt zu zeigen, dass vorhersagbare sensorische Effekte selbst dann die

Bewegungsgenerierung beeinflussen, wenn sie den Bewegungen erst zeitlich folgen, und nicht wie in Induktionsstudien zeitlich vorangehen (vgl. Abbildung 2). Besteht ein derartiger Einfluss eines zukünftigen Ereignisses auf die Produktion der Bewegung, muss er auf der gedanklichen Vorwegnahme des Effektes vor der Bewegungsausführung beruhen, denn andernfalls kann ein Effekt keine Bewegung beeinflussen, dessen Resultat er ja erst werden wird.

Mittlerweile existiert eine Reihe von Arbeiten, die derartige „Rückwirkungen“ zukünftiger Effekte auf die Bewegungsproduktion nachweisen konnten. Ein Beispiel hierfür sind Arbeiten zur sog. Reaktions-Effekt-Kompatibilität. Versuchsteilnehmern fällt es in Wahlreaktionsaufgaben leichter auf einen Stimulus zu reagieren, wenn die geforderte Reaktion kontingent mit einem kompatiblen anstatt mit einem inkompatiblen sensorischen Effekt verbunden ist (Kunde, 2001; Kunde, 2003; Kunde, Koch & Hoffmann, 2004). So kann z.B. ein kräftiger Druck auf eine Reaktionstaste schneller initiiert werden, wenn diesem Tastendruck verlässlich und vorhersehbar ein lauter statt ein leiser Ton folgt, oder es ist leichter, einen linken Tastendruck zu initiieren, wenn damit verlässlich und vorhersehbar ein linkes anstatt eines rechten Lämpchens eingeschaltet wird (vgl. Abbildung 3).

Dass Effekte, die einer Reaktion zeitlich folgen werden, die Geschwindigkeit beeinflussen, mit der die Reaktion bereitgestellt werden kann, erscheint aus Sicht tradierter Wahlreaktionszeitmodelle kontraintuitiv. Üblicherweise fokussieren diese Modelle darauf, dass ein Reiz präsentiert und eine entsprechende Reaktion gemessen wird. Die Dauer des Intervalls zwischen diesen Ereignissen wird durch die Schwierigkeit der Übersetzung des Reizes in die Reaktion bestimmt (z. B. Sanders, 1980). Die Aufgabe ist mit der Reaktion schlicht abgeschlossen und insofern sind Effekte, die der Reaktionen folgen werden, irrelevant. Die Tatsache, dass sich derartige Effekte in den Antwortlatenzen niederschlagen, macht deutlich, dass die Effekte zwar rein technisch, aber eben nicht funktionell, „irrelevant“ sind: Offenbar werden sie auf Grund ihres verläss-

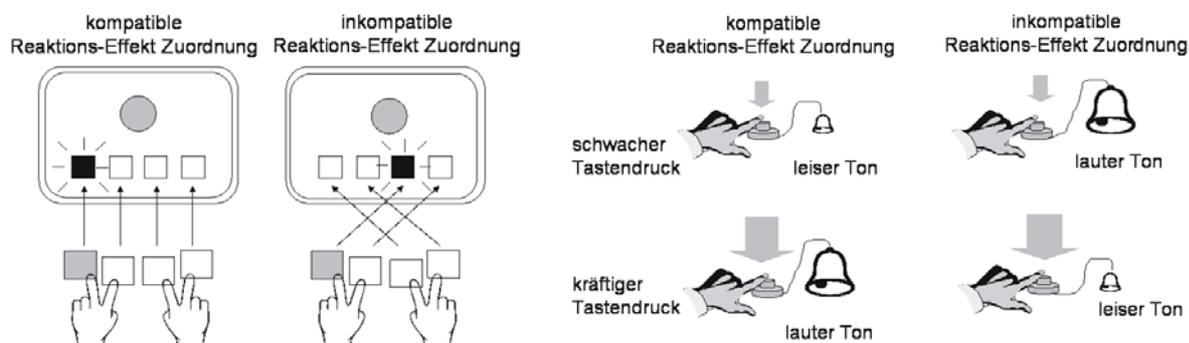


Abbildung 3. Links: Räumliche Reaktionen gelingen schneller, wenn sie vorhersehbar räumlich kompatible Effekte erzeugen. Rechts: Intensitätsvariable Reaktionen gelingen schneller, wenn sie vorhersehbar intensitätskompatible Effekte erzeugen.

lichen Eintretens im Sinne der IM-Hypothese als mentale Adressen für die Rekrutierung der geforderten Aktion genutzt.

Der heuristische Wert solcher Beobachtungen ist meines Erachtens nicht zu unterschätzen. Sie stützen nicht nur eine zentrale Annahme der IM-Hypothese, sondern gestatten außerdem einen Einblick in die Eigenschaften bewegungssteuernder Effektantizipationen, der durch Induktionsstudien allein nicht zu erreichen ist. Einflüsse antizipierter Effekte erlauben es, näher zu untersuchen, unter welchen Randbedingungen, nach welchen Gesetzmäßigkeiten usw. eine interne Aktivierung bewegungssteuernder Effektrepräsentationen erfolgt. Dieses generelle Vorgehen möchte ich exemplarisch anhand einiger Untersuchungsfragestellungen illustrieren.

## Wirkungszeitpunkt antezedenter Effektrepräsentationen

Im Allgemeinen wird angenommen, dass sich die willkürliche Produktion einer Körperbewegung in drei Phasen gliedern lässt. Eine Aktion wird zunächst mental *ausgewählt*, dann *initiiert*, und schließlich *ausgeführt*. Ohne auf theoretische Feinheiten einzugehen, kann man Aktionsauswahl als diejenigen Prozesse definieren, die ablaufen, nachdem einer Versuchsperson bekannt gegeben wird, welche Aktion sie auszuführen haben wird, mit dem Beginn der Aktion aber bis zu einem vereinbarten Startsignal gewartet werden soll. Aktionsinitiierung kennzeichnet die Prozesse, die zwischen einem (externen oder internen) Startsignals und dem tatsächlichen Beginn der Aktion liegen. Und die Aktionsausführung entspricht der von außen beobachtbaren Realisierung der initiierten Aktion. Für welche dieser Phasen spielen Effektantizipationen eine Rolle?

*Aktionsauswahl.* Ideo-motor inspirierte Modelle der Bewegungssteuerung nehmen übereinstimmend an, dass antizipative Effektrepräsentationen der Auswahl zielgerichteter Bewegungen dienen (Greenwald, 1970a; Hommel et al., 2001). Empirisch wird diese Annahme durch die Beobachtung gestützt, dass bereits die Vorbereitung einer Aktion ohne deren tatsächliche Initiierung ausreicht, um die Ausführung effektgleicher Aktionen zu erleichtern. Das ist nur möglich wenn bereits die Reaktionsauswahl eine Aktivierung entsprechender Effektrepräsentationen einschließt (Kunde, Hoffmann & Zellmann, 2002). Es ist bekannt, dass Aktionsauswahl ein sehr limitierter Vorgang ist, der immer nur für eine Aktion zur Zeit erfolgen kann (Welford, 1952). Im Einklang mit einer effektbasierten Aktionsauswahl zeigt sich in Doppelaufgaben, dass es praktisch nicht möglich ist, einen Bewegungseffekt zu antizipieren, während gerade eine ganz andersartige Aktion ausgewählt werden muss (Paelecke & Kunde, 2005). Die Beteiligung antizipativer Effektrepräsentationen an der Aktionsauswahl kann daher als theoretisch unstrittig und experimentell gestützt angesehen werden.

*Aktionsinitiierung.* Etwas anders verhält es sich mit der Beteiligung antezedenter Effektrepräsentationen an der Überführung ausgewählter Aktionen in tatsächliche Körperbewegung, also deren Initiierung. In Modellen effektbasierter Bewegungssteuerung (z. B. Hommel et al., 2001) werden Effektrepräsentationen als „early antecedents of action“ (S. 849) verstanden, während die Aufgabe, den trägen Körper zu tatsächlicher Bewegung zu veranlassen einer „machinery of the ‚late‘ motor processes“ (S. 849) überantwortet wird, die unabhängig von effektbasierten Bewegungsrepräsentationen operieren. Das suggeriert eine exklusive Funktion antizipierter Effekte für die mentale Auswahl von Aktionen. Einiges spricht dafür, dass diese Einschränkung nicht erforderlich ist. Erstens, antizipierte Effekte beeinflussen Reaktionszeiten auch dann, wenn den Vpn freigestellt wird, welche Aktion sie bei Darbietung eines Startsignals ausführen wollen, wodurch die Aktionsauswahl bereits vor Darbietung des Startsignals erfolgen kann (Kunde, 2001, Experiment 3). Zweitens, auch wenn den Vpn ausreichend Informationen und ausreichend Zeit für die Auswahl der Aktionen gegeben wird, sodass diese lediglich noch auf ein Startsignal zu initiieren sind, bleiben Einflüsse antizipierter Aktionseffekte nachweisbar (Kunde et al., 2004). Drittens neigen Vpn dazu, eine einmal ausgewählte Aktion (fälschlicherweise) zu initiieren, wenn (unvorhergesehen) anstatt der ausgewählten eine effektäquivalente Alternativaktion auszuführen ist. Das legt nahe, dass in solchen Fällen die bereits ausgewählte Aktion unbeabsichtigt „überschwellig“ wird, wenn die Alternativaktion die Aktivierung derselben Effektkodierungen erforderlich macht (Kunde et al., 2002, Experiment 1). Kodierungen sensorischer Effekte dienen also offenbar nicht nur der mentalen Auswahl von Aktionen, sondern bestimmen auch den physikalischen Beginn der Aktionen, also ihre Initiierung.

*Aktionsausführung.* Nachdem eine Bewegung eingeleitet wurde, muss sie über einen mehr oder weniger ausgedehnten Zeitraum ausgeführt werden. Die Aktionsausführung wird üblicherweise durch die Analyse physischer Bewegungsparameter untersucht, etwa der Geschwindigkeit mit der sich eine Hand bewegt, oder des messbaren Drucks mit dem eine Reaktionstaste niedergedrückt wird. Solche Parameter sind im Regelfall mit Reaktionszeiten unkorreliert, was nahe legt, dass das „wann“ und „wie“ motorischer Aktionen durch unabhängige Prozesse kontrolliert wird (Abrams & Balota, 1991; Ulrich, Rinkenauer & Miller, 1998). Empirisch lässt sich beobachten, dass antizipierte Effekte mit dem Beginn der Ausführung nicht plötzlich wirkungslos werden, und zumindest post-hoc sind diese Einflüsse mit einer effektbasierten Repräsentation von Handlungen in Einklang zu bringen. Im Allgemeinen lassen sich diese Einflüsse als Kontrastwirkungen charakterisieren: Die Ausführung einer Aktion wird in Gegenrichtung ihrer eintretenden Effekte angepasst. Solche Kontrasteinflüsse sind übereinstimmend für die Intensität, die Dauer und den Zeitpunkt von Aktionen beobachtet worden. Wird z. B. von einer Vpn ein kräftiger Tastendruck gefordert, wird die Taste im Mittel fester gedrückt, wenn diese Aktion einen leisen statt eines lauten Tones erzeugt (Kunde et al., 2004). Bei einem geforderten

langen Tastendruck wird die Taste etwas länger niedergedrückt, wenn dieser Tastendruck einen kurzen (80 ms) anstatt eines langen Tones (240 ms) erzeugt (Kunde, 2003). Und wenn eine Aktion zu einem bestimmten Zeitpunkt abgegeben werden soll, wird sie früher ausgeführt, wenn sie einen späten (verzögerten) Ton erzeugt (Aschersleben & Prinz, 1997).

Bemerkenswerterweise sind diese Kontrasteinflüsse antizipierter Effekte den sonst beobachteten Assimilationseinflüssen wahrgenommener Reize entgegengesetzt. Im Allgemeinen führt nämlich die Wahrnehmung eines schwachen Reizes dazu, dass eine entsprechende Reaktionstaste weniger kräftig niedergedrückt wird, und die Wahrnehmung eines kurzen Reizes führt dazu, dass eine Taste kürzer gedrückt wird (Grosjean & Mordkoff, 2001; Ulrich et al., 1998). Die Kontrastwirkungen antizipierter Effekte lassen vermuten, dass die über mehrere Sinnesmodalitäten verteilten Effekte einer Reaktion (in den Beispielen taktil und auditiv) zu einer multimodalen Ereignisrepräsentation verbunden werden (Aschersleben & Prinz, 1997). Die Bewegungsausführung wird so angepasst, dass diese multimodale Repräsentation insgesamt einem angestrebten Kriterium entspricht. Wenn z. B. ein kräftiger Tastendruck gefordert ist, der aber „nur“ zu einem leisen Ton führt, werden die taktilen Rückmeldungen (und damit die gemessene Reaktionskraft) so erhöht, dass die taktil-auditiven Reafferenzen wieder dem eines intensiven Tastendrucks entspricht. Auch wenn diese Spekulation weiter erhärtet werden muss, lässt sich doch festhalten, dass antezedente Effektrepräsentationen sowohl eine Rolle spielen für die mentalen Prozesse, die der Bewegungsausführung vorgelagert sind (Auswahl und Initiierung), als auch für die Art und Weise wie die Bewegung letztlich physikalisch ausgeführt wird.

## Format antezedenter Effektrepräsentationen

Wahrgenommene Ereignisse können auf unterschiedliche Weise mental abgebildet werden. Die „imagery debate“ der 80er Jahre hat zur Unterscheidung eines wahrnehmungsanalogen Formats und eines propositionalen Formats geführt (Pylyshyn, 2002). Die „rote“ Farbe eines Apfels kann danach sowohl in einer bildhaften Form gespeichert werden, die phänomenal der Wahrnehmung der tatsächlichen Farbe entspricht, aber auch in einer amodalen Form, die weitgehend von sensorischen Eigenschaften abstrahiert. Das IM-Prinzip impliziert, dass es Repräsentationen gibt, die für Wahrnehmung und Handlung gleichermaßen genutzt werden (Prinz, 1990). Dass solche Repräsentationen auf sehr abstrakter Ebene existieren, ist mehr oder weniger selbstverständlich. Man kann zum Beispiel eine Person „nett“ finden und weil sie „nett“ ist, sich mit ihr verabreden. Insofern werden sowohl die Wahrnehmung der Person, als auch das Verhalten ihr gegenüber von dem gemeinsamen Attribut „nett“ bestimmt. Die Annahme gemeinsamer Repräsentationen für Wahrnehmung und Handlung würde allerdings an Erklärungskraft einbü-

ßen, wenn solche gemeinsamen Wahrnehmungs-Handlungs-Repräsentationen lediglich auf einer derart abstrakten Ebene existieren würden. Aber wo ist die Grenze? Wie peripher können Repräsentationen von Reizen und Bewegungen sein, um noch in unmittelbare Interaktion treten zu können?

William James (1890) war vom anschaulichen Charakter bewegungssteuernder Effektantizipationen überzeugt („effect images“). Allerdings hatte James durch die von ihm favorisierte Introspektionsmethode kaum die Chance, zu einer anderen Schlussfolgerung zu gelangen. Untersuchungen mithilfe dauervariabler Reaktionen und Effekte unterstützen James' introspektive Vermutung (Kunde, 2003). Hier zeigt sich, dass die Initiierung einer Aktion etwas mehr Zeit in Anspruch nimmt, wenn diese Aktion einen langen anstatt einen kurzen Ton erzeugt (vgl. Kiesel & Hoffmann, 2004). Das macht unter der Annahme einer anschaulichen Antizipation von Effekten durchaus Sinn, denn lange Effekte sind in der wahrgenommenen Zeit trivialerweise ausgedehnter als kurze Effekte, und daher sollte auch ihre anschauliche Vorstellung mehr Zeit in Anspruch nehmen. Dagegen gibt es keinen plausiblen Grund anzunehmen, dass sich die Antizipation kurzer oder langer Effekte unterscheidet, wenn diese in einer abstrakten Form vorliegen. Einflüsse dauervariabler Effekte legen darüber hinaus eine neuartige Interpretation des in der Motorikforschung gut etablierten sog. Komplexitätseffektes nahe: Lange Aktionen (z. B. das Aussprechen des Wortes „Laubbaum“) bedürfen im Regelfall mehr Zeit um initiiert zu werden als kurze Aktionen (z. B. das Wort „Laub“; Henry & Roger, 1960; Kunde & Stöcker, 2002). Dies wird traditionell auf eine neuromuskulär aufwändigere Programmierung längerer Aktionen zurückgeführt. Die ideo-motorische Perspektive legt dagegen nahe, dass die höheren Initiierungszeiten langer Reaktionen einfach auf der längeren anschaulichen Antizipation der mit ihnen verknüpften sensorischen (im Beispiel auditiven) Effekte beruhen.

Die Bedeutung anschaulicher Effektrepräsentationen wird auch durch Experimente von Koch und Kunde (2002) unterstützt. Versuchspersonen hatten Farbworte auszusprechen (z. B. das Wort „blau“). Diese vokalen Reaktionen erzeugten als Effekte ein entweder kompatibles Farbwort („blau“) oder ein inkompatibles Farbwort („grün“) auf einem Darbietungsbildschirm. Die physikalische Farbe der Effektwörter war in einer Gruppe von Vpn immer neutral (weiß), während die Effektwörter in einer weiteren Gruppe in der physikalischen Farbe präsentiert wurden, die sie auf verbaler Ebene bezeichneten (z. B. das Wort „blau“ in blauer Farbe). Interessanterweise war der R-E-Kompatibilitätseffekt bei farbig eingefärbten Effektwörtern nahezu doppelt so groß, wie bei Farbwörtern in neutraler (weißer) Farbe. Dies legt nahe, dass die anschauliche Farbeigenschaft der Effektwörter spontan mitkodiert und bei der Bewegungsproduktion mitaktiviert wird, obwohl sie auf Bedeutungsebene keine zusätzliche Information bietet. Die Befunde lassen sich dahingehend zusammenfassen, dass das spontan erzeugte, und primär wirksame Kodierungsformat bewegungssteuernder Effektantizipationen anschaulich ist.

## Einflüsse antezedenter Effektcodes auf die Kombinierbarkeit diskreter Bewegungen

Im Alltag kommen, anders als in den berichteten Experimenten, isolierte Einzelaktionen kaum vor, wir müssen vielmehr oft mehrere Bewegungen gleichzeitig oder kurz nacheinander ausführen, etwa beim Binden einer Schleife, beim Streichen eines Butterbrotes oder beim Tippen eines Textes am Computer. Es liegt daher nahe zu fragen, inwieweit antizipatorische Effektrepräsentationen neben der Spezifizierung von Einzelaktionen auch die Kombinierbarkeit von Bewegungen beeinflussen. Im Allgemeinen zeigt sich, dass es mit Kosten verbunden ist, wenn unterschiedliche Bewegungen in kurzem zeitlichen Abstand geplant oder ausgeführt werden müssen. Wird zum Beispiel gerade eine Reaktion auf einen Stimulus ausgewählt, dauert es eine gewisse Zeit bis eine weitere Reaktion ausgewählt werden kann (sog. Psychologische Refraktärperiode PRP; Welford, 1952). Ebenso kostet es Zeit, wenn man sich auf die Ausführung einer bestimmten Bewegung eingestellt hat, nun aber entgegen der Erwartung eine andere Bewegung ausführen soll (sog. Reprogrammierungskosten; Rosenbaum & Kornblum, 1982). Schließlich kann es sehr schwierig (oder praktisch unmöglich) sein, wenn man gezwungen wird, sehr unterschiedliche Bewegungen gleichzeitig auszuführen, z. B. mit der linken Hand einen Kreis und mit der rechten Hand ein Quadrat zu malen (sog. bimanuelle Koordination; Heuer, 1994).

Bereits Greenwald (1970b) hat darauf hingewiesen, dass derartige Probleme der Kombination von Handlungen durch Einschränkungen in der gleichzeitigen Aktivierung und Bereithaltung unterschiedlicher Effektrepräsentationen verursacht werden könnten. Wenn die endogene Aktivierung von Effektcodes ein zeitkonsumierender Vorgang ist, lässt sich vorhersagen, dass der Zeitaufwand, der entsteht, wenn zwei Aktionen mehr oder weniger gleichzeitig bereitgestellt werden müssen, geringer ist, je weniger unterschiedliche Effektrepräsentationen für die Spezifizierung dieser Aktionen aktiviert werden müssen. Für diese Ansicht gibt es einige Unterstützung. Eine Reaktion kann schneller initiiert werden, wenn den Vpn bekannt ist, dass im unmittelbaren Anschluss eine Reaktion erfolgen soll, die zum selben anstatt zu einem anderen auditiven Effekt führt, d. h. wenn also für die mentale Adressierung der aufeinander folgenden Reaktionen zumindest ein Effekt gemeinsam genutzt werden kann (Kunde et al., 2002, Exp. 2 & 3). Außerdem fällt es leichter, von einer vorbereiteten auf eine unvorbereitete Aktion „umzuschalten“, wenn beide Aktionen übereinstimmende statt unterschiedliche sensorische Effekte erzeugen (Kunde et al., 2002, Exp. 1; McDowell, Jeka, Schöner & Hatfield, 2002). Schließlich gibt es auch in der Forschung zur bimanuellen Koordination klare Belege dafür, dass die Kombinierbarkeit von manuellen Bewegungen von der Kombinierbarkeit ihrer sensorischen Effekte abhängt (vgl. Mechsner, Kerzel, Knoblich & Prinz, 2001).

Dies verdeutlicht eine Studie von Kunde und Weigelt (2005). Abbildung 4 illustriert die experimentellen Bedingungen.

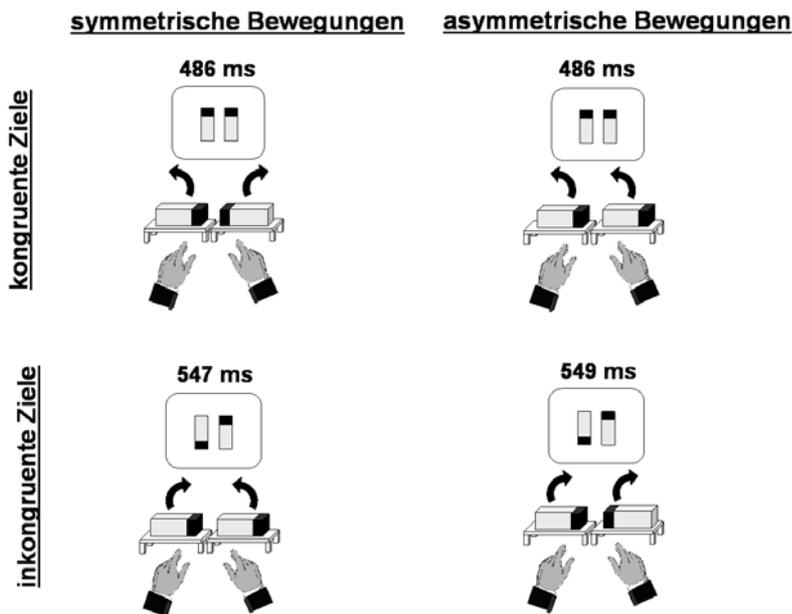


Abbildung 4. Versuchsanordnung von Kunde und Weigelt (2005). Die Versuchsteilnehmer hatten kongruente oder inkongruente Objektorientierungen herzustellen, mit Hilfe symmetrischer oder asymmetrischer Bewegungen. Über den Bedingungen stehen die Antwortlatenzen, die zwischen Bekanntwerden der Zielorientierungen und Beginn der Bewegung erforderlich waren.

Versuchspersonen hatten den Auftrag zwei vor ihnen liegende Klötzchen aus bestimmten horizontalen Ausgangslagen in bestimmte vertikale Zielorientierungen zu platzieren. Die Zielorientierungen der Klötze waren entweder gleich oder ungleich, und dazu waren entweder symmetrische oder asymmetrische Armbewegungen erforderlich. Im Allgemeinen findet sich in derartigen Koordinationsaufgaben ein Vorteil für die Ausführung von symmetrischen Bewegungen (gleichzeitige Einwärts- oder Auswärtsdrehung beider Arme) gegenüber asymmetrischen Bewegungen (Einwärtsdrehung des einen Armes und Auswärtsdrehung des anderen Armes). Dies wird üblicherweise auf eine Tendenz zur Aktivierung homologer Muskelgruppen zurückgeführt. Im Experiment zeigte sich, dass nicht die Übereinstimmung der auszuführenden Bewegungen, sondern allein die Übereinstimmung der zu erreichenden Objektorientierungen, also die Effekte der Bewegungen in der Umwelt entscheidend sind. Waren die angestrebten Objektorientierungen gleich (Abb. 4, oben), ließen sich die Bewegungen besser kombinieren, als wenn die Objektorientierungen ungleich waren (Abb. 4, unten), unabhängig davon, ob dazu symmetrische oder asymmetrische Bewegungen nötig waren. Effekte der Bewegungssymme-

trie ließen sich ebenfalls nachweisen, allerdings nur, wenn die Vpn mit den Klötzen in den Händen Einwärts/Auswärtsdrehungen der Arme ausführen, ohne die Absicht zu haben, die Klötze in eine bestimmte vertikale Orientierung zu bringen. Dieser Befund legt nahe, dass äußerlich identische Bewegungen in Abhängigkeit von den mit ihnen erzielten Effekten mental unterschiedlich repräsentiert werden können. Zusammengefasst beeinflussen Effektrepräsentationen also nicht nur die Spezifizierung diskreter Einzelbewegungen, sondern auch ihre Kombinierbarkeit.

## Schlussbemerkung

Die Mechanismen zielgerichteten Verhaltens sind ein zentraler Forschungsgegenstand einer Verhaltenswissenschaft wie der Psychologie. Ein Verständnis dieser Mechanismen wird nur möglich sein, wenn wir klären, welche mentalen Antezedenzen zielgerichtete Bewegungen ermöglichen. Diese Klärung ist nicht nur von rein theoretischem Interesse, sondern hat erhebliche praktische Bedeutung in den angewandten Bereichen der Psychologie, in denen es seit jeher um die Verbesserung von Bewegungsabläufen geht, wie der Rehabilitationspsychologie, der Musikpsychologie oder der Sportpsychologie (z. B. Effenberg, 2000; Drost et al., 2005). Die hier referierten Studien legen nahe, dass die Antezedenzen willkürlicher Körperbewegungen als Vorstellungen sensorischer Effekte konzeptualisierbar sind. Diese Idee hat neuartige Hypothesen und Befunde stimuliert, und ihre Spezifizierung ist gegenwärtig in vollem Gange.

Wie in jedem Forschungsprogramm bleiben natürlich Fragen offen. Ich möchte mich auf drei meines Erachtens besonders klärungsbedürftige Fragen beschränken (vgl. auch Hoffmann, Kunde & Stöcker, 2004). Erstens, selbst wenn antizipative Effektrepräsentationen bis unmittelbar vor Bewegungsbeginn Einfluss auf die Bewegungsproduktion haben (siehe den Abschnitt zur Aktionsinitiierung), muss letztlich eine Aktivierung derjenigen Muskeln erfolgen, die zur Erreichung eines bestimmten Effektes benötigt werden. Wie geschieht diese Muskelaktivierung? Es mag durchaus sein, dass „the adequate muscular activation patterns are automatically and effortlessly tuned in service to the perceptually defined movement tendency“ (Mechsner, 2004, S. 2). Aber das befreit uns noch nicht von der Notwendigkeit dieses „tuning“ zu konkretisieren. Einen brauchbaren Modellierungsansatz stellen hier möglicherweise sog. inverse Modelle dar. Inverse Modelle verwenden als Eingabe einen angestrebten Zielzustand (z. B. die Hand in einer bestimmten Stelle des Raumes), und liefern als Ausgabe efferente Kommandos die die Erreichung dieses Zieles gestatten (vgl. Desmurget & Grafton, 2000). Zweitens, ein und derselbe Effekt kann im Regelfall durch unterschiedliche Bewegungen erreicht werden (eine Tür kann man z. B. durch Niederdrücken der Klinke mit der rechten Hand, der linken Hand oder gar der Hüfte öffnen). Irgendwie muss sichergestellt werden, dass nur eine aus der Vielzahl äquifunktionaler Bewegungen zur Ausführung gelangt. Im Rahmen einer effektbasierten Bewegungsrepräsentationen lässt sich dieser Vorgang

möglicherweise dahingehend konzeptualisieren, dass die Bewegungsspezifikation zunächst mit körper-externen Bewegungseffekten (visuelle, auditive etc.) beginnt und dann in Abhängigkeit von zusätzlichen Kriterien, wie der metabolischen Effizienz der Bewegung, zu immer körperbezogeneren (taktilen, propriozeptiven) Effekten fortschreitet, die letztlich nur noch mit einem einzigen Bewegungsmuster vereinbar ist. Drittens, gilt es zu klären, ob für die Rekrutierung einer Bewegung alle bewegungskontingenten Effekte genutzt werden, oder nur solche, die der Akteur als Ziel seiner Handlung gegenwärtig intendiert. Die Befundlage ist hier uneinheitlich. In einigen Studien wirken nur solche Effektrepräsentationen die die Probanden explizit anstreben (Ansorge, 2002; Kunde & Weigelt, 2005). In anderen Situationen schlagen sich dagegen auch aufgabenirrelevante Bewegungseffekte nieder, zumindest dann, wenn sie relativ salient und schwer ignorierbar sind (Kunde, 2001; Koch & Kunde, 2002).

Nach Lage der Dinge kann man optimistisch sein, dass wir mit den zur Verfügung stehenden Methoden auch auf diese Fragen plausible Antworten finden werden. Insofern hat sich die „alte“ ideo-motorische Hypothese als forschungsleitende Idee bereits jetzt bewährt.

## Literatur

- Abrams, R. A. & Balota, D. A. (1991). Mental chronometry: Beyond reaction time. *Psychological Science*, 2, 153–157.
- Adams, J. A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111–150.
- Ansorge, U. (2002). Spatial intention-response compatibility. *Acta Psychologica*, 109, 285–299.
- Aschersleben, G. & Prinz, W. (1997). Delayed auditory feedback in synchronization. *Journal of Motor Behavior*, 29, 35–46.
- Beckers, T., De Houwer, J. & Eelen, P. (2002). Automatic integration of non-perceptual action effect features: The case of associative affective Simon effect. *Psychological Research*, 66, 166–173.
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. & Frith, C. (2000). Why can't you tickle yourself. *Neuroreport*, 11, 11–16.
- Desmurget, M.-P. & Grafton, S. (2000). Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 324–431.
- Drost, U. C., Rieger, M., Braß, M., Gunter, T. C. & Prinz, W. (2005). Action-effect coupling in pianists. *Psychological Research*, 69, 233–241.
- Effenberg, A. O. (2000). Zum Potenzial komplexer akustischer Bewegungsinformationen für die Technikansteuerung. *Leistungssport*, 5, 19–25.
- 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. R. (2002). Linking actions and their perceivable consequences in the human brain. *NeuroImage*, 17, 364–372.
- Eenshusitra, R. M., Weidema, M. A. & Hommel, B. (2004). Development of the acquisition and control of action-effect associations. *Acta Psychologica*, 115, 185–209.
- Gehlen, A. (1997). *Der Mensch* (13. Auflage). Wiesbaden: UTB-Verlag.
- Greenwald, A. G. (1970a). Sensory feedback mechanisms in performance control: With special reference to the ideo-motor mechanism. *Psychological Review*, 77, 73–99.
- Greenwald, A. G. (1970b). A choice reaction time test of ideo-motor theory. *Journal of Experimental Psychology*, 86, 20–25.

- Grosjean, M. & Mordkoff, T. (2001). Temporal stimulus-response compatibility. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 870–878.
- Harleß, E. (1861). Der Apparat des Willens. *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 38, 50–73.
- Hauf, P., Elsner, B. & Aschersleben, G. (2004). The role of action effects in infants' action control. *Psychological Research*, 68, 115–125.
- Hauseisen, J. & Knösche, T. (2001). Involuntary motor activity in pianists evoked by music perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 786–792.
- Henry, F. M. & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a „memory drum“ theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly of the American Association for Health, Physical Education, and Recreation*, 31, 448–458.
- Heuer, H. (1994). Koordination. In H. Heuer & S. W. Keele. (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich C Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Band 3 Psychomotorik* (S. 147–222). Göttingen: Hogrefe.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Hoffmann, J. (2001). Das ideomotorische Prinzip, ABC, closed loops und Schemata. In J. R. Nitsch & H. Allmer (Hrsg.), *Denken, Sprechen, Bewegen* (S. 69–75). Köln: BPS.
- Hoffmann, J., Stöcker, C. & Kunde, W. (2004). Anticipatory Control of Actions. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2, 346–361.
- Hommel, B. (1996). The cognitive representation of action: Automatic integration of perceived action effects. *Psychological Research*, 59, 176–186.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G. & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC): A framework for perception and action. *Behavioural and Brain Sciences*, 24, 869–937.
- James, W. (1981). *The principles of psychology* (orig. 1890). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Keele, S. W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387–403.
- Kiesel, A. & Hoffmann, J. (2004). Variable action effects: Response control by context-specific effect anticipations. *Psychological Research*, 68, 155–162.
- Koch, I. & Kunde, W. (2002). Verbal response-effect compatibility. *Memory and Cognition*, 30, 1297–1303.
- Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 387–394.
- Kunde, W. (2003). Temporal response-effect compatibility. *Psychological Research*, 67, 153–159.
- Kunde, W. (2004). Response priming by supraliminal and subliminal action effects. *Psychological Research*, 68, 91–96.
- Kunde, W. & Kiesel, A. (im Druck). See what you've done. Active touch affects the number of perceived visual objects. *Psychonomic Bulletin and Review*.
- Kunde, W. & Stöcker, C. (2002). A Simon effect for stimulus response duration. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A: Human Experimental Psychology*, 55, 581–592.
- Kunde, W. & Weigelt, M. (2005). Goal congruency in bimanual object manipulation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 145–165.
- Kunde, W. & Wühr, P. (2004). Actions blind to conceptually overlapping stimuli. *Psychological Research*, 68, 199–207.
- Kunde, W., Hoffmann, J. & Zellmann, P. (2002). The impact of anticipated action effects on action planning. *Acta Psychologica*, 109, 137–155.
- Kunde, W., Koch, I. & Hoffmann, J. (2004). Anticipated action effects affect the selection, initiation, and execution of actions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A: Human Experimental Psychology*, 57, 87–106.
- McDowell, K., Jeka, J. J., Schöner, G. S. & Hatfield, B. D. (2002). Behavioral and electrocortical evidence of an interaction between probability and task metrics in movement planning. *Experimental Brain Research*, 144, 303–313.
- Mechsner, F., Kerzel, D., Knoblich, G. & Prinz, W. (2001). What is coordinated in bimanual coordination. *Nature*, 414 (6859), 69–72.
- Mechsner, F. (2004). A psychological approach to human voluntary movements. *Journal of Motor Behaviour*, 36, 355–370.
- Meltzoff, A. N. & Moore, M. K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198, 75–78.
- Müsseler, J. & Hommel, B. (1997). Blindness to response-compatible stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 861–872.
- Paelecke, M. & Kunde, W. (2005). Anticipatory effect codes in and before the bottleneck. In B. Hommel, G. P. H. Band, W. La Heij & G. Wolters (Eds.), *Proceedings of the IIVth meeting of the European Society for Cognitive Psychology* (p. 63). Leiden: Leiden University, Department of Cognitive Psychology.
- Prinz, W. (1987). Ideomotor action. In H. Heuer & A. F. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 47–76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 129–154.
- Prinz, W. (1998). Die Reaktion als Willenshandlung. *Psychologische Rundschau*, 49, 10–20.
- Pylyshyn, Z. W. (2002). Mental imagery. In search of a theory. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 157–238.
- Rieger, M. (2004). Automatic keypress activation in skilled typing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 555–565.
- Rosenbaum, D. A. (1980). Human movement initiation: Specification of arm, direction, and extend. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 444–474.
- Rosenbaum, D. A. & Kornblum, S. (1982). A priming method for investigating the selection of motor responses. *Acta Psychologica*, 51, 223–243.
- Sanders, A. (1980). Stage analysis of reaction processes. In G. E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 331–354). Amsterdam: North Holland.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225–260.
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis*. Englewood, NJ: Prentice-Hall.
- Stock, A. & Stock, C. (2004). A short history of ideomotor action. *Psychological Research*, 68, 176–188.
- Thorndike, E. L. (1927). The law of effect. *The American Journal of Psychology*, 39, 212–222.
- Uexküll, J. v. (1921). *Umwelt und Innenwelt der Tiere*. Berlin: J. Springer.
- Ulrich, R., Rinkenauer, G. & Miller, J. (1998). Effects of stimulus duration and intensity on simple reaction time and response force. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 915–928.
- 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.
- Wendt-Kürschner, J. & Goschke, T. (2004). Unbewusste Effektantizipationen und Handlungskontrolle. In D. Kerzel, V. Franz & K. Gegenfurtner (Hrsg.), *Experimentelle Psychologie. Beiträge zur 46. Tagung experimentell arbeitender Psychologen* (S. 282). Lengerich: Pabst.
- Ziebler, M. & Nattkemper, D. (2002). Effect anticipation and action planning. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Common mechanisms in perception and action: Attention & Performance XIX* (pp. 645–672). Oxford: Oxford University Press.

PD Dr. Wilfried Kunde

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
 Institut für Psychologie  
 06099 Halle (Saale)  
 E-Mail: w.kunde@psych.uni-halle.de