

„Representational Momentum“: Wahrnehmung oder Kognition?

Dirk Kerzel

Abteilung Allgemeine Psychologie
Justus-Liebig-Universität
Otto-Behaghel-Str. 10F
35394 Giessen

Tel.: +49 (0) 641 / 9926 - 107

Fax: +49 (0) 641 / 9926 - 119

Email: dirk.kerzel@psychol.uni-giessen.de

URL: <http://www.allpsych.uni-giessen.de/dk/>

Zusammenfassung: Die Hypothesen, dass mentale Repräsentationen inhärent dynamisch seien, und dass diese Dynamik den physikalischen Gesetzmäßigkeiten der realen Welt folge, werden diskutiert. Als Belege für diese Hypothesen galten Fehlleistungen des visuellen Kurzzeitgedächtnisses: Die erinnerte letzte Position eines bewegten Zielreizes wich horizontal in Bewegungsrichtung und vertikal nach unten von der tatsächlichen ab, so als ob die Repräsentation des Objektes Impuls („representational momentum“) und Schwerkraft besäße. Weitere Gedächtnisverschiebungen ließen darauf schließen, dass es auch mentale Analoga von Gewicht, Reibung und Zentripetalkraft gibt. Die empirische Evaluation der Befunde wirft allerdings Zweifel an der Validität der experimentellen Manipulationen und Schlussfolgerungen auf. Es wurde entweder ein sehr eigentümliches experimentelles Design verwendet, oder die Blickposition wurde nicht kontrolliert. Beide Faktoren verändern die Ergebnisse maßgeblich. Neuere Experimente weisen darauf hin, dass Täuschungen im Wahrnehmungsprozess, nicht aber die Dynamik der mentalen Repräsentationen, die Gedächtnisverzerrungen produziert. Blickbewegungen sind für einen Teil der perzeptuellen Fehlleistungen verantwortlich.

Schlüsselworte: Mentale Repräsentationen, Representational Momentum, Gedächtnis, Internalisierung, Positionsurteile, Augenbewegungen

Title: Representational momentum: Dynamics of perceptual processes, not dynamics of mental representations

Abstract: The hypothesis that mental representations are inherently dynamic and that their dynamics follow physical laws are discussed. Support for these hypothesis comes from errors in visual short-term memory: The remembered position of a moving target was displaced in the direction of motion and downward, as if the object's representation possessed momentum (“representational momentum”) and gravity. Further memory displacements lead researchers to conclude that there were mental analoga of weight, friction, and centripetal force. The empirical evaluation of these claims casts doubts on the validity of the experimental manipulations and conclusions. Either a very peculiar design was used or the gaze position was not monitored. Both factors affect the pattern of results. Recent experiments point to the alternative hypothesis that the distortion of perceptual processes, but not the dynamics of mental representations produce errors in visual short-term memory. Properties of oculomotor behavior and some perceptual illusions explain memory displacement.

Key Words: representational momentum, memory, mental representations, internalization, position judgments, oculomotor control.

Analoge vs. propositionale Repräsentation von Raum

Es ist eine zentrale menschliche Fähigkeit, die externe Welt mental abbilden zu können. Welche Eigenschaften haben solche mentalen Repräsentationen? Sind sie eher bildlich oder eher verbal? Und werden nur statische Ausschnitte der Ereignisse gespeichert, oder auch Veränderungen über die Zeit? Die Frage nach der Natur der mentalen Repräsentationen lässt sich also in Bezug auf räumliche Dimensionen stellen, aber ebenso in Bezug auf den Fortgang der abgebildeten Ereignisse, also in Bezug auf die Zeit.

Es gibt zwei grundlegende Möglichkeiten, räumliche Beziehungen in der Welt zu beschreiben. Zum einen können Symbole, deren Bedeutung konventionell festgelegt sind, Raum abbilden. In einer symbolischen Kodierung ist die Wahl des Abbildungsbereichs kaum Einschränkungen unterworfen. Den Darstellungen durch solche „mentale Sätze“ stehen bildliche Repräsentationen gegenüber. Bildliche Darstellungen vermitteln Bedeutung durch die Ähnlichkeit, die sie mit dem Abzubildenden haben. So ist eine Fotografie eine bildliche Darstellung, da sie in einem nicht-arbiträren Zusammenhang zum abgebildeten Gegenstand steht. Eine Debatte, die sich über Jahrzehnte durch die kognitive Psychologie zog, beschäftigte sich mit der Frage, ob die Natur der mentalen Repräsentation von Raum propositional oder analog sei (Kosslyn, 1994). Viele der empirischen Befunde ließen jedoch lange keine endgültige Entscheidung zwischen den beiden Möglichkeiten zu. Erst in jüngster Zeit wurde festgestellt, dass Areale des Neokortex während mentaler Vorstellung aktiv waren, die auch für das Sehen benötigt werden (z.B. Kosslyn, Thompson, Kim, & Alpert, 1995). Dies spricht - allerdings nicht schlüssig (siehe Pylyshyn, in Druck) - dafür, dass eine analoge Repräsentation existiert, da die mentale Repräsentation in ähnlichen kortikalen Arealen produziert wird wie ein

visuelles Bild der Umwelt, welches tatsächlich durch den Sehapparat wahrgenommen wird.

Analoge Repräsentation von Zeit: Dynamische Repräsentationen

Wie wird also die physikalische Welt in unseren Köpfen dargestellt? Ergebnis der sogenannten „Imagery Debate“ ist, dass es neben propositionalen Repräsentationen auch analoge, bildhafte Repräsentationen gibt. Diese Repräsentationen können neben statischen Bildern auch Veränderungen über die Zeit, also dynamische Ereignisse, abbilden. Wir können uns beispielsweise ein sich drehendes Objekt vorstellen. In diesem Zusammenhang vermutete Jennifer J. Freyd in den achtziger Jahren, dass Zeit ebenso wie Raum ein Attribut mentaler Abbilder sei (Freyd, 1987). Mentale Repräsentationen seien dynamisch, das heißt sie veränderten sich in der Zeit. Wenn wir also einen gewissen Ausschnitt eines dynamischen Ereignisses gesehen haben, dann führt unser kognitiver Apparat dieses Ereignis in der Folge unwillkürlich fort, weil die Repräsentation des Ereignisses auch eine zeitliche Dimension hat, und der Verlauf der Zeit eine Veränderung des repräsentierten Sachverhaltes mit sich bringen würde. Die mentale Welt unterliegt also einer intrinsischen Inhaltsdynamik. Eine in diesem Zusammenhang bedeutende Hypothese ist, dass die zeitlichen Veränderungen der Repräsentationen denselben Gesetzmäßigkeiten wie Veränderungen der repräsentierten Objekte in der physikalischen Welt folgen (eine Übersicht gibt Hubbard, 1995b). Dieser eher radikalen Annahme nach besteht eine raum-zeitliche Ähnlichkeit zwischen der äußeren Welt und den mentalen Repräsentationen. Repräsentationen verhalten sich demzufolge so, als ob die physikalischen Gesetzmäßigkeiten auch für die mentalen Objekte gelten würden. Zweifelsohne glaubte niemand, dass es sich dabei um eine Ähnlichkeit zwischen der externen Welt und der neuronalen Aktivität an sich handele, oder dass es eine eins-zu-eins Zuordnung von realem und abgebildetem Raum gäbe. Vielmehr wurde

die Hypothese vertreten, die Ähnlichkeit bestehe zwischen den Beziehungen und Veränderungen der mentalen Welt und denen der realen Welt, es handle sich somit um eine Strukturähnlichkeit.

Die Frage nach der Dynamik mentaler Repräsentationen und den Eigenschaften dieser Dynamik, wurde insbesondere durch Fehlleistungen des visuellen Kurzzeitgedächtnisses (KZG) untersucht. Bestimmte Urteilsfehler bezüglich der letzten Position eines bewegten Objektes wurden als Beleg für die dynamische, quasi-physikalische Natur der mentalen Welt interpretiert. Wenn Beobachter gebeten wurden, die letzte Position eines bewegten Objektes anzugeben, dann machten sie systematische Fehler in Bewegungsrichtung. Die subjektiv letzte Position wich in Bewegungsrichtung von der tatsächlichen letzten Position ab. Es schien so, als ob das mentale repräsentierte Objekt einen Impuls besäße, sich nach Verschwinden des realen Objektes weiterhin in die anfängliche Richtung weiterzubewegen. Die Verschiebung in Bewegungsrichtung wurde von Jennifer J. Freyd entdeckt und „representational momentum“ genannt (Freyd & Finke, 1984) und ist von zentraler Bedeutung für Theorien über die Natur menschlicher Kognitionen. Wenn es so ist, dass die Bewegung des Reizes mental fortgeführt wurde, so als ob das mentale Objekt Impetus besäße, dann erscheint die Annahme gerechtfertigt, die mentale Welt unterliege einer inhärenten Dynamik, die unabhängig von der Intention des Beobachters ist. Es ist bemerkenswert, dass der Fehler in Bewegungsrichtung trotz bewusster Anstrengung auf Seiten der Versuchspersonen (VPn) nicht unterdrückt werden konnte (Finke & Freyd, 1985). Die mentale Welt scheint Zeit somit notwendig und inhärent zu repräsentieren und jene unwillkürlichen zeitlichen Veränderungen unterliegen physikalischen Prinzipien wie Impetus, Reibung, Schwerkraft, etc.

Funktional wurde diese antizipative Eigenschaft der mentalen Repräsentation

evolutionär gedeutet. Es sei von Vorteil, die Bewegung von nicht mehr wahrgenommenen Objekten mental fortzuführen, um so möglichst gut auf die Objekte reagieren zu können (Kelly & Freyd, 1987). Wenn man zum Beispiel nach einem bewegten Objekt greifen möchte und dieses Objekt zeitweise verdeckt ist, dann ist es vorteilhaft, wenn der kognitive Apparat die Objektbewegung automatisch weiterführt, so dass die Repräsentation des Ziels der Greifbewegung immer aktuell bleibt. Der Grund für die mentale Fortführung von Objektbewegungen wäre damit in einem Überlebensvorteil dieser Eigenschaft zu suchen.

Dynamische Wahrnehmung und Wahrnehmungstäuschung

Einer Interpretation der Gedächtnisverschiebung durch dynamische mentale Repräsentationen stelle ich im folgenden Befunde gegenüber, die darauf hindeuten, dass die Fehlleistungen nicht auf der angenommenen kognitiven Verarbeitungsstufe verursacht werden, sondern auf einer perzeptuellen. Die vorgestellten Arbeiten zeigen, dass die Fehlleistungen des visuellen KZG auf die Dynamik der Okulomotorik und einige Wahrnehmungstäuschungen zurückgeführt werden können, die - im Gegensatz zu analogen mentalen Repräsentationen - in keinerlei Abbildungsverhältnis zur physikalischen Welt stehen. Ich zeige, dass nicht die mentale Repräsentation von Objektpositionen, sondern die Wahrnehmung dieser Objektpositionen die Quelle von Verzerrungen ist. Ein Großteil der Effekte lässt sich auf die antizipative Steuerung von Wahrnehmungsprozessen zurückführen, was die Annahme von dynamischen Repräsentationen überflüssig macht.

Insgesamt stelle ich die Hypothese, die mentale Repräsentation von bewegten Reizen sei intrinsisch dynamisch, infrage, indem ich zeige, dass die Fehlleistungen durch die extrinsische Dynamik der repräsentierenden Prozesse bedingt werden. Gedächtnisverschiebungen werden durch die dynamische Steuerung von Blickbewegungen und durch einige

perzeptuelle Verzerrungen produziert, die als abbildende Prozesse zu verstehen sind und nicht den Charakter einer Repräsentation haben. Damit zeige ich, dass mentale Repräsentationen dynamischer Ereignisse an sich keiner autonomen Veränderung in der Zeit unterliegen. Im Gegenteil, unter den entsprechenden Bedingungen ist die mentale Repräsentation fehlerfrei. Entscheidend für die Fehlleistungen ist vielmehr, was eine VP in der experimentellen Situation tut, vor allem, wohin sie ihren Blick lenkt. Wenn sie sich entscheidet, dem bewegten Zielreiz mit den Augen zu folgen, dann ist die Steuerung ihrer Blickbewegung antizipativ, das heißt, sie muss zu jedem Zeitpunkt vorhersagen, wo sich der Reiz hinbewegt, um ihn nicht aus den Augen zu verlieren. Diese Dynamik erklärt Verschiebungen der erinnerten letzten Position, ohne dass dynamische mentale Repräsentationen als Erklärung notwendig wären. Andere Verschiebungen wiederum lassen sich dadurch erklären, dass die VP dem bewegten Zielreiz nicht folgt, sondern andere stationäre Objekte anschaut. Strategische Entscheidungen der VPn spielen also ebenso eine Rolle wie die inhärente Dynamik der Blickbewegungskontrolle. Wiederum andere Verzerrungen von Inhalten des visuellen KZG lassen sich durch Wahrnehmungstäuschungen erklären, die nichts mit der Steuerung von Blickbewegungen zu tun haben. Das einheitliche Konzept einer Veränderung räumlicher Repräsentationen durch internalisierte physikalische Gesetzmäßigkeiten zerfällt somit in verschiedene perzeptuelle Faktoren, wie Blickbewegungs-dynamik, strategische Fixationskontrolle und Wahrnehmungsillusionen. Diesen Mechanismen ist gemein, dass sie vor der Stufe des Gedächtnisses operieren. Die Fehlleistungen sind also nicht auf eine intrinsische Inhaltsdynamik kognitiver Repräsentationen zurückzuführen, sondern auf Eigenschaften vorgeschalteter

Verarbeitungsstufen, im besonderen der Okulomotorik und der visuellen Wahrnehmung. Diese Prozesse formen die Repräsentation im Wahrnehmungsprozess, sind allerdings nicht zu verwechseln mit den Repräsentationen an sich. Anstatt die Hypothese dynamischer Repräsentationen zu stützen, verweisen die Befunde auf die Rolle der Handlungsplanung und -ausführung für das Gedächtnis. Die Speicherung von Informationen im visuellen KZG ist nicht unabhängig von Prozessen der Motorik, im Gegenteil, Handlungen verändern Inhalte des KZG maßgeblich.

Im folgenden werde ich Befunde, die als Beleg für dynamische mentale Repräsentationen galten, vorstellen und darlegen, dass eine Erklärung durch mentale Analoga physikalischer Prinzipien nicht zwingend ist. Neuere Ergebnisse unterstützen hingegen die Hypothese, dass nicht die intrinsische Inhaltsdynamik mentaler Repräsentationen, sondern die Fehlleistungen repräsentierender Prozesse die Verzerrungen erklärt.

Repräsentationaler Impuls mit implizierter Bewegung

Wenn Beobachter die letzte Position eines bewegten Reizes sehen, der zu einem vorhersehbaren oder unvorhersehbaren Zeitpunkt verschwindet, dann sind Urteile über die letzte Position in Bewegungsrichtung verzerrt. Beobachter beurteilen eine Position als die zuletzt gesehene, die in Bewegungsrichtung von der tatsächlich letzten Position abweicht. Um diese Fehleinschätzung zu erklären, wurde angenommen, dass die repräsentierte Bewegung nicht unmittelbar dann angehalten werden kann, wenn der Reiz verschwindet. Analog zum Impuls (engl. "momentum") physikalischer Objekte könne die mentale Repräsentation von Bewegung ebenfalls nicht sofort zum Stillstand gebracht werden, so dass sie über die tatsächlich letzte Position des bewegten Reizes hinwegschießt, ähnlich einem "mental Bremsweg". Diese Trägheit der mentalen Repräsentation wurde von Freyd und Finke (1984) als repräsentationaler Impuls (engl.

"representational momentum"), bezeichnet. In den Studien von Freyd und Kollegen wurde zumeist keine echte Bewegung gezeigt, sondern die Bewegung wurde durch aufeinanderfolgende Ausschnitte einer Bewegung impliziert (z.B. Freyd, 1987). Es wurden verschiedene Orientierungen eines Rechtecks gezeigt, wobei zwischen den Darbietungen leere Intervalle eingefügt wurden (s. Abb. 1A). Die Sequenz der Orientierungen ergab keine glatte Bewegung, sondern ähnelte einer Reihe von statischen Bildern.

Verschiedene experimentelle Manipulationen stützten die Analogie

zwischen physikalischem und mentalem Impuls. Der physikalische Impuls eines Objektes nimmt linear mit seiner Geschwindigkeit und Masse zu. In Übereinstimmung mit dieser Eigenschaft nahm auch die Fehleinschätzung in Bewegungsrichtung mit der implizierten Geschwindigkeit und Beschleunigung der Rotation des Rechtecks zu (Finke, Freyd, & Shyi, 1986). Ebenso vergrößerte sich die Fehleinschätzung in Bewegungsrichtung mit der Länge des Behaltensintervalls (Freyd & Johnson, 1987). Der Fehler war mit kurzen Zeitintervallen zwischen dem Verschwinden des Zielreizes und dem Auftauchen des

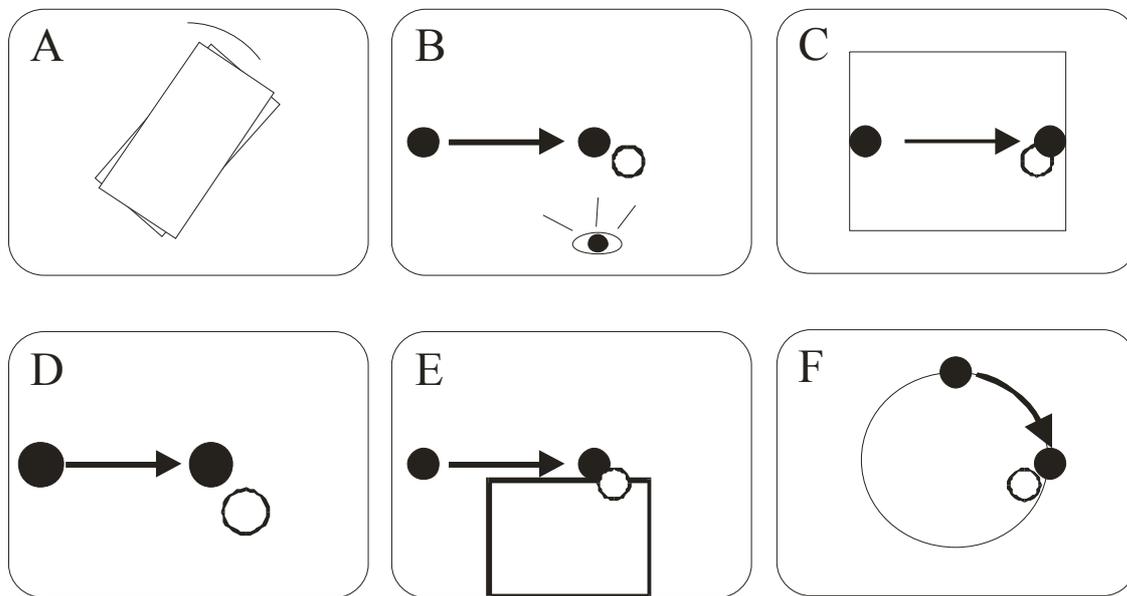


Abbildung 1. Übersicht über die verwendeten Paradigmen, Befunde und bisherige Interpretation. Die geschätzte Position wird durch die unausgefüllten Kreise angegeben. **(A)** In den Studien Freyds wurde hauptsächlich das Gedächtnis für die letzte Orientierung eines rotierenden Rechtecks untersucht. Die erinnerte Position (gestrichelt) wich in Rotationsrichtung von der tatsächlichen letzten Orientierung ab, was Evidenz für ein mentales Analogon des physikalischen Impulses war. **(B)** Hubbard untersuchte hauptsächlich das Gedächtnis für die letzte Position eines linear bewegten Reizes, der zufällig verschwand. Die erinnerte Position wich in Bewegungsrichtung und nach unten von der tatsächlichen ab, was auf repräsentationalen Impetus und Schwerkraft hindeutete. Wenn dem Zielreiz mit den Augen gefolgt wurde, dann kam es zu einem Überschießen der Augenfolgebewegungen. **(C)** Ein Zielreiz bewegte sich innerhalb eines Rahmens von einer Begrenzung zur anderen. Wenn der Zielreiz an der Begrenzung verschwand, dann gab es keinen Vorwärtsfehler. Erwartung über die Bewegungsbahn modulierte den repräsentationalen Impuls. **(D)** Die Verschiebung nach unten war stärker für große Objekte als für kleine, was für repräsentationales Gewicht sprach. **(E)** Wenn ein Objekt entlang einer großen Fläche glitt, dann war die Vorwärtsverschiebung reduziert, was auf repräsentationale Reibung zurückgeführt wurde. **(F)** Die erinnerte letzte Position eines Objektes war in Bewegungsrichtung und zur Mitte verschoben. Repräsentationale Zentripetalkraft erklärte diesen Befund.

Testreizes kleiner als bei großen Intervallen, so als ob sich das Objekt nach dem Verschwinden mental weiterbewegte. Bis ungefähr 250 ms nach dem Verschwinden des Rechtecks wuchs der Fehler linear an und dann verringerte er sich wieder.

Effekte von Erwartung und konzeptuellem Wissen

Die wörtliche Analogie zwischen repräsentationalem und physikalischem Impuls ließ sich schon sehr früh in ihrer starken Form nicht aufrecht erhalten. Studien zeigten, dass der Fehler in Bewegungsrichtung von verschiedenen nicht-physikalischen Faktoren beeinflusst wird. So ist der Fehler in Bewegungsrichtung abhängig von Erwartungen über die Bewegungsbahn des Objektes, die durch wiederholte Präsentation eines periodischen Bewegungsmusters (Verfaillie & d'Ydewalle, 1991) induziert wurden. Wenn eine Richtungsänderung in der implizierten Bewegung des Objektes antizipiert wurde, dann kam es zu einer Verringerung des Fehlers. Auch konzeptuelles Wissen um den Zielreiz beeinflusst den Fehler (Reed & Vinson, 1996): Die Verschiebung in Bewegungsrichtung war größer, wenn eine Rakete als bewegter Zielreiz verwendet wurde, als wenn eine Kirche gezeigt wurde, obgleich die globale Eigenschaft der beiden Zielreize (spitz) gleich ist. Damit konnte die ursprüngliche Idee, dass der Fehler auf ein kognitiv nicht durchdringbares Modul zurückgeht, nicht aufrecht erhalten werden (Finke & Freyd, 1989). Die theoretische Vorstellung wurde dahingehend verändert, dass eine automatische, relativ unwillkürliche Fortführung der Reizbewegung angenommen wurde, die allerdings durch weitere kognitive Faktoren moduliert werden kann.

Effekte des experimentellen Designs

Eine ungewöhnliche Eigenschaft der Experimente von Freyd und Kollegen betrifft das experimentelle Design. In ihren Experimenten war die letzte Orientierung des Zielreizes, eines Rechteckes, für alle

VPn gleich. Eine Gruppe sah während des gesamten Experimentes eine implizierte Rotation entgegen den Uhrzeigersinn bis zur konstanten Endorientierung, und die zweite Gruppe eine implizierte Rotation im Uhrzeigersinn bis zur konstanten Endorientierung. Da für eine gegebene VP die Stimulussequenz während des gesamten Experimentes gleich blieb, konnten die VPn schon vor Beginn eines Durchgangs die jeweiligen Orientierungen des Rechteckes antizipieren. Unklar ist daher, ob die Verschiebung der letzten Position des Objektes auf Prozesse zurückging, die sich innerhalb eines Durchgangs abspielten, oder auf Prozesse, die sich über das gesamte Experiment hinweg erstreckten. In einigen Studien wurde diese Unklarheit diskutiert, jedoch nicht befriedigend beantwortet, da niemals sowohl die Bewegungsrichtung wie auch die Endorientierung (bzw. -position) zusammen betrachtet wurden. In einer systematischen Untersuchung dieser Faktoren wurden einige der Bedingungen vorangegangener Arbeiten repliziert (Kerzel, 2002a). Dabei wurde unterschieden zwischen der Endorientierung des Rechteckes und der Rotationsrichtung des Rechteckes. Beide Faktoren konnten für eine gegebene VP entweder während des gesamten Experimentes gleich bleiben, also eine feste Rotationsrichtung und eine feste Endposition haben, oder zufällig variieren. Es zeigte sich, dass sowohl der Zeitverlauf wie auch die Größe der Vorwärtsverschiebung stark vom gewählten Design abhingen. Besonders bedeutsam war der Befund, dass bei gleichzeitiger Randomisierung von Endposition und Rotationsrichtung keinerlei Fehler in Bewegungsrichtung auftrat. Der Vorwärtsfehler trat also nur bei antizipierter Bewegungsrichtung oder Endposition des Zielobjektes in einem Durchgang auf. Damit ist die Generalisierbarkeit der Befunde von Freyd stark eingeschränkt: Nur wenn Beobachter wiederholt dieselbe Bewegung sehen, tritt eine Verschiebung auf. In natürlichen Situationen ist dies nur sehr selten der Fall, so dass die Annahme einer inhärenten Dynamik der mentalen Welt an Bedeutsamkeit verlieren würde.

Repräsentationaler Impuls mit realer Bewegung

Jüngere Studien zum repräsentationalen Impuls in den neunziger Jahren entfernten sich von der implizierten Bewegung und dem Design Freyds. In der Folge Freyds wurden von Timothy L. Hubbard zur Untersuchung des visuellen KZG häufig die lineare und glatte Bewegung eines Zielreizes verwendet, der zu einem zufälligen Zeitpunkt verschwand (eine Übersicht gibt Hubbard, 1995b). Dabei variierte die Bewegungsrichtung zufällig. Es wurden Unterschiede in der Größe der Fehllokalisierung in Abhängigkeit von der Bewegungsrichtung gefunden (Hubbard & Bharucha, 1988), aber insgesamt war der Fehler auch bei unvorhersehbarer Bewegungsrichtung und Position des Verschwindens von Null verschieden (s. Abb. 1B). Auch konnten Effekte, die mit implizierter Bewegung gefunden wurden, mit glatter, realer Bewegung repliziert werden. Bei glatter Bewegung fanden sich Effekte von Erwartung und Geschwindigkeit (z.B. Hubbard & Bharucha, 1988). Die Einschränkungen der Befunde Freyds schienen damit überwunden zu sein, zumal die Generalisierbarkeit der Ergebnisse durch die Präsentation von sehr realistischer Bewegung verbessert wurde. Hubbard ließ seine VPn die erinnerte letzte Position des Zielreizes mittels eines Cursors einstellen, der durch Mausbewegungen kontrolliert wurde. Damit konnten zugleich Abweichungen entlang der Achse der Bewegung und orthogonal zu dieser registriert werden.

Effekte von Augenbewegungen

Wenn ein Zielreiz sich auf dem Computerbildschirm bewegt, dann ist es sehr wahrscheinlich, dass der Beobachter diesem Reiz mit den Augen folgt. Bei glatten Reizbewegungen würden entsprechend glatte Augenfolgebewegungen (GAF) induziert. Verschwindet der Zielreiz zu einem zufälligen Zeitpunkt, dann kommen die

GAF nicht sofort zum Stillstand. Es gibt vielmehr einen okulomotorischen Impuls, der ein Überschießen der GAF über die Position des Verschwindens bedingt. Nach Verschwinden des Reizes ist die Fixation in Bewegungsrichtung relativ zur letzten Reizposition verschoben. Dieser Umstand ist relevant vor dem Hintergrund zweier bekannter Eigenschaften des visuellen Systems. Erstens gibt es eine Tendenz, die Position peripherer Reize im visuellen KZG zur Fovea zu verschieben (z.B. Kerzel, 2002b). Das bedeutet, dass die letzte Position bei Überschießen der Augen fehllokalisiert wird, weil der Fixationsort dorthin verschoben ist (Kerzel, Jordan, & Müsseler, 2001). Zweitens persistiert ein Bild eines Objektes für eine variable Dauer im visuellen System, so dass die Beobachter ein kurzes „Nachbild“ des Reizes sehen. Da das Auge nach Verschwinden des Zielreizes auch weiterhin in Bewegungsrichtung rotiert, und das Bild des Zielreizes für weitere 50 ms auf derselben retinotopen Position, zumeist der Fovea, sichtbar bleibt, glaubt der Beobachter irrtümlicherweise, den Reiz während dieses kurzen Zeitraums weiter zu verfolgen (Kerzel, 2000). Visuelle Persistenz und eine Fehllokalisierung peripherer Reize zur Fovea hin erklären also, weshalb die erinnerte letzte Position verschoben ist, wenn der Beobachter dem Reiz mit den Augen folgt. Entsprechend dieser Argumentation wurde weder eine Verschiebung der letzten Position in Bewegungsrichtung noch Effekte der Zielreizgeschwindigkeit beobachtet, wenn dem Zielreiz nicht mit den Augen gefolgt wurde (Kerzel, 2000; Kerzel et al., 2001). Ferner zeigte sich ein typischer Zeitverlauf der Gedächtnisverschiebung, wenn Augenbewegungen ausgeführt wurden: Bis ca. 250 ms nach Verschwinden des Zielreizes vergrößerte sich die Gedächtnisverzerrung, dann blieb sie konstant (Kerzel, 2000). Dies ist kongruent mit der Zeitspanne, über die glatte Augenfolgebewegungen geplant werden. Insgesamt ist also die Dynamik von Blickbewegungen, insbesondere deren Überschießen bei Verschwinden des Zielreizes, und nicht die Dynamik von mentalen Repräsentationen für die

Gedächtnisverschiebung in
Bewegungsrichtung verantwortlich.

Effekte von Erwartung

Veränderungen der
Gedächtnisverzerrung durch Erwartungen über die Bewegungsbahn wurden auch mit glatter Reizbewegung gefunden (Hubbard & Bharucha, 1988). Wenn sich ein Zielreiz in einem Experiment mit konstanter Geschwindigkeit zwischen zwei Punkten A und B auf dem Bildschirm hin und her bewegt, dann erwartet der Beobachter nach einiger Zeit nicht mehr, dass sich der Zielreiz über den Punkt A oder B hinaus bewegt (s. Abb. 1C). Stattdessen erwartet der Beobachter, dass der Zielreiz, sobald der Umkehrpunkt erreicht ist, seine Bewegungsrichtung ändert, und sich auf den anderen Zielpunkt zu bewegt. Was passiert nun, wenn der Zielreiz entweder an einem Umkehrpunkt (A oder B) oder zufällig entlang der Bewegungsbahn (zwischen A und B) verschwindet? Es zeigte sich, dass die Verschiebung an den Umkehrpunkten kleiner und sogar entgegen der aktuellen Bewegungsrichtung war (Hubbard & Bharucha, 1988). Der repräsentationale Impuls kann somit durch Erwartungen über die Bewegungsbahn moduliert werden. Allerdings können auch GAF durch Erwartungen beeinflusst werden. Insbesondere wird die Geschwindigkeit der GAF an vorhersehbaren Umkehrpunkten eines Zielreizes verringert, vermutlich um so nach dem Richtungswechsel besser dem Zielreiz folgen zu können (Kerzel, in Druck). Daher ist das okulomotorische Überschießen an einem vorhersehbaren Umkehrpunkt kleiner als an einer zufälligen Position zwischen den Umkehrpunkten (Kerzel et al., 2001). Es ist also sehr wahrscheinlich, dass Veränderungen der Geschwindigkeit der GAF die Veränderung der Vorwärtsverschiebung bei vorhersehbarer Richtungsänderung bedingen. Ein direkter Einfluss von Erwartung auf die Dynamik der mentalen Repräsentation, wie

ursprünglich angenommen, erscheint hingegen fragwürdig.

Insgesamt stellt der Befund, dass die Gedächtnisverschiebung von der Art der Augenbewegung abhängt, die Hypothese der Internalisierung von physikalischen Prinzipien infrage. Die Vorstellung von dynamischen mentalen Repräsentationen verweist auf eine post-perzeptuelle, kognitive Stufe, auf der die Verzerrung auftritt. Ein mentaler Impuls sollte die Repräsentation der letzten Position des Objektes in Bewegungsrichtung verschieben. Die Befunde legen aber nahe, dass das aktive perzeptuelle Verhalten der Beobachter, das heißt die Dynamik der GAF während der Stimuluspräsentation, die Gedächtnisverzerrung produziert. Die Repräsentation der letzten Position wird entweder verzerrt durch Spuren, die der Reiz im visuellen Ultra-Kurzzeitspeicher hinterlässt („Nachbilder“), oder durch eine Verschiebung erinnerter Objektpositionen zur Fovea, die im visuellen KZG auftritt. Nicht die vorwärtsgerichtete Dynamik der mentalen Repräsentation, sondern die antizipative Natur der repräsentierenden Prozesse ist somit für die Fehlleistung verantwortlich.

Repräsentationale Schwerkraft

In einer Reihe von Studien wurde beobachtet, dass die erinnerte letzte Position eines Objektes unterhalb der tatsächlichen letzten Position liegt (s. Abb. 1B). Dabei wurden unbewegte natürliche Objekte (z.B. Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988), wie zum Beispiel Fotos von fallenden Personen, und bewegte oder unbewegte geometrische Objekte (z.B. Hubbard, 1995a) untersucht. In allen Fällen gab es eine systematische Verzerrung nach unten.

Allerdings beruht die Schlussfolgerung, die mentale Repräsentation der Zielreizposition würde durch ein mentales Analogon von Schwerkraft verzerrt, auf der Annahme, dass die perzeptuelle Repräsentation der Stimuli einwandfrei ist. Wenn man diese implizite Annahme testet, indem man die VPn bittet, auf das Zentrum eines sichtbaren

geometrischen Objektes, wie beispielsweise eines Kreises oder eines Rechtecks, zu zeigen, dann ist auch dieses perzeptuelle Urteil nach unten verschoben (Kerzel, in Druck). VPn geben also nicht das tatsächliche Zentrum des Objektes an, sondern eine Position, die etwas nach unten von diesem abweicht. Weil mentale Repräsentationen auf den Ergebnissen der perzeptuellen Verarbeitung beruhen, kann eine Verzerrung nach unten, die sowohl im Wahrnehmungsurteil wie auch im Gedächtnisurteil auftritt, nicht eindeutig auf Gedächtnisprozesse zurückgeführt werden. Es gibt verschiedene Interpretationsmöglichkeiten: Möglicherweise vergrößert das Gedächtnis den Wahrnehmungsfehler; oder aber ein mentales Analogon von Schwerkraft fügt dem Wahrnehmungsfehler ähnlich geartete Gedächtnisfehler hinzu. Eine Entscheidung zwischen diesen beiden Interpretationsmöglichkeiten ist nicht möglich, so dass die Schlussfolgerung, mentale Schwerkraft führe die Fehllokalisation nach unten herbei, nur unter Vorbehalt getroffen werden kann.

Repräsentationales Gewicht

Eine Vorhersage der wörtlichen Impulsmetapher ist, dass der Fehler in Bewegungsrichtung von der Masse des Objektes abhängt. Der Impuls eines physikalischen Objektes steigt mit der linearen Geschwindigkeit des Objektes und seiner Masse. Daher wäre zu erwarten, dass sich auch der Fehler in Bewegungsrichtung mit der Masse des Objektes vergrößert. Die wahrgenommene Masse wurde durch die visuelle Größe des Objektes manipuliert (s. Abb. 1D). Je größer das Objekt, umso größer auch die wahrgenommene Masse. Der erwartete Effekt von Masse auf den Fehler in Bewegungsrichtung blieb jedoch aus (Hubbard, 1997), was weitere Evidenz gegen eine strikte Analogie zum physikalischen Impuls darstellt. Allerdings stieg die Tendenz, den Zielreiz zu weit nach unten zu lokalisieren, mit der Größe des Objektes an (Hubbard, 1997). Diese

Tendenz liefert Evidenz für die Behauptung, dass die Beobachter für das implizierte Gewicht des Objektes sensibel sind, welches physikalisch dem Produkt aus Masse und Beschleunigung durch Erdanziehung entspricht.

Es gibt jedoch perzeptuelle Äquivalente für diese Verzerrung. Wenn Beobachter das Zentrum eines sichtbaren Kreises von unterschiedlicher Größe einschätzen sollen, dann wird das Zentrum weiter unten angegeben als es tatsächlich ist, und dieser Fehler steigt mit der Größe des Objektes (Kerzel, in Druck). Bei größeren Objekten ist die Fehleinschätzung nach unten stärker als bei kleinen Objekten. Allerdings sind die Effekte deutlicher, wenn das Zentrum eines erinnerten Objektes beurteilt werden soll (Kerzel, in Druck). Ob diese Vergrößerung durch mentale Analoga von Gewicht oder Schwerkraft produziert werden, oder ob es sich um eine bloße Verstärkung des perzeptuellen Fehlers handelt, bleibt unklar.

Repräsentationale Reibung

Wenn ein horizontal oder vertikal bewegter Zielreiz an der Kante eines größeren, stationären Objektes entlang gleitet, dann verringert sich die Verschiebung in Bewegungsrichtung im Vergleich zu einem bewegten Objekt, das isoliert dargeboten wird (s. Abb. 1E, Hubbard, 1995a). Die Vorwärtsverschiebung verringert sich mit der Anzahl der Kanten, an die das Objekt anstößt. Da eine Erhöhung der physikalischen Reibung, wie sie in den simulierten Situationen vorlag, eine Verringerung des physikalischen Impulses zur Folge hat, sind diese Ergebnismuster mit der Existenz eines mentalen Analogons von Reibung konsistent: Die Repräsentation der Bewegung von denjenigen Zielreizen, die eine starke Reibung erfuhren, wurde stärker verlangsamt als die Repräsentation der Bewegung von solchen Zielreizen, die eine schwache Reibung erfuhren.

Der Vergleich von Bedingungen, in denen die VPn nur den isolierten Zielreiz sahen, mit Bedingungen, in denen sie mit einem oder mehreren Objekten konfrontiert

wurden, wirft einige Probleme auf. Wenn nur ein Objekt präsentiert wird, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Beobachter dieses Objekt mit den Augen fixieren, sehr hoch. Im Falle eines bewegten Zielreizes ist es damit sehr wahrscheinlich, dass die VPn dem Reiz mit GAF folgen. Mit der Präsentation weiterer Objekte in der visuellen Szene sinkt diese Wahrscheinlichkeit, da zusätzliche Objekte fixiert werden können. Da die Vorwärtsverschiebung abnimmt, wenn dem Zielreiz nicht gefolgt wird, sollte mit steigender Anzahl der Objekte die Größe der Vorwärtsverschiebung abnehmen. Experimentell wurde diese Hypothese überprüft (Kerzel, in Druck), indem die VPn in einer Bedingung instruiert wurden, dem bewegten Reiz immer nachzuschauen, unabhängig davon, ob simultan ein zweites Objekt dargeboten wurde oder nicht. Es zeigte sich kein Unterschied zwischen der Bedingung mit dem stationären Reibungsobjekt und der alleinigen Darbietung des Zielreizes hinsichtlich des Fehlers in Bewegungsrichtung. In einer zweiten Bedingung wurden die VPn angewiesen, dem Zielreiz nachzuschauen, wenn er allein zu sehen war, und ein großes stationäres Objekt zu fixieren, wenn dieses zusammen mit dem Zielreiz präsentiert wurde. In dieser Bedingung zeigte sich eine starke Reduktion des Vorwärtsfehlers bei Fixation des stationären Objektes. Objekte, die Reibungsflächen simulieren, bremsen somit nicht die Dynamik mentaler Repräsentationen, sondern die Dynamik der GAF, weil sie gelegentlich fixiert werden.

Repräsentationale Zentripetalkraft

Welche Bewegungsbahn hat eine Murmel, die sich in einem horizontal erstreckten und gekrümmten Schlauch bewegt, und dann den Schlauch verlässt? Oft wählen VPn eine gekrümmte und nicht die korrekte gerade Bewegungsbahn nach Verlassen des Schlauches als Antwort (z.B. McCloskey & Kohl, 1983). Ein ähnliches Muster trat auf, wenn VPn die letzte

Position eines Objektes angeben mussten, das, kurz nachdem es den Schlauch verlassen hatte, verschwand: Die Verschiebung in Bewegungsrichtung war entlang eines gekrümmten Pfades am größten, und nicht entlang des korrekten geraden Pfades (Freyd & Jones, 1994). Ist also ein nicht vorhandenes physikalisches Prinzip internalisiert worden? Dieses Problem wurde aufgeklärt, indem Kräfte, die auf einer kreisförmigen Flugbahn wirksam werden, genauer aufgeschlüsselt wurden (Hubbard, 1996). Kreisförmige Bewegung ist physikalisch definiert als Summe des Impulses entlang der Kreistangente und der zentripetalen Anziehung zum Zentrum des Orbits. Genau diese beiden Komponenten könnten internalisiert worden sein. Konsistent mit der Internalisierungsannahme wurde in der Studie von Hubbard (1996) die letzte Position eines Objektes auf einer Kreisbahn etwas zu weit in die tangentielle Bewegungsrichtung, und zu weit in den Kreisinnenraum lokalisiert (s. Abb. 1F).

Die VPn in der Studie Hubbards (1996) zur repräsentationalen Zentripetalkraft wurden instruiert, dem Zielreiz mit den Augen zu folgen, jedoch wurden die Augenbewegungen nicht gemessen. Da sich die Reize nur langsam bewegten und ein Durchgang zwischen 9 und 42 s lang war, ist anzunehmen, dass die VPn ihren Blick von dem Zielreiz abgewendet haben. Es ist wahrscheinlich, dass sie Punkte innerhalb und nicht außerhalb der kreisförmigen Umlaufbahn fixiert haben. Punkte innerhalb des Kreises können als "Abkürzung" von einem Punkt der Trajektorie zu einem zukünftigen gewählt werden, und von der Mitte des Kreises haben alle Punkte auf dem Orbit die gleiche retinale Schärfe. Eine solche strategische Wahl des Fixationsortes hätte weitreichende Folgen für die Verzerrung der letzten Position des Reizes. Es ist bekannt, dass Zielreize in der retinalen Peripherie zur Fovea fehllokalisiert werden, so dass entsprechend der Zielreiz zum Zentrum des Orbits hin fehllokalisiert wird, wenn dieses Zentrum angeschaut wird. Um diese Hypothese experimentell zu testen, wurde den VPn ein Zielreiz auf einer

kreisförmigen Bewegungsbahn gezeigt, und sie wurden instruiert, entweder den Mittelpunkt des Kreises, oder den Zielreiz mittels GAF anzuschauen (Kerzel, eingereicht). Wenn die VPn dem Zielreiz mit den Augen folgten, dann zeigte sich eine große Verschiebung der erinnerten letzten Position in die tangentielle Bewegungsrichtung. Die Verschiebung zum Zentrum war jedoch sehr klein. Im Gegensatz dazu war die Verschiebung in die tangentielle Bewegungsrichtung bei Fixation des Zentrum klein, während die Verschiebung zum Zentrum der Kreisbahn relativ groß war. Dieses Ergebnismuster unterstützt die Vermutung, dass die Befunde von Hubbard (1996) durch eine Kombination beider Strategien zu erklären sind: In einem Teil der Durchgänge schauten die VPn dem Zielreiz nach, was zu einer Verschiebung der erinnerten Position in Bewegungsrichtung führte. In einem anderen Anteil der Durchgänge fixierten sie Punkte um das Zentrum herum, was zu einer Verschiebung zum Mittelpunkt führte. Ein Erklärungsansatz, der sich auf kognitive Mechanismen und Repräsentationen stützt, kann den Einfluss von perzeptuellen Variablen, wie dem Fixationsort, sicherlich nicht sinnvoll beantworten.

Die Hypothese mentaler Analoga physikalischer Prinzipien wird somit durch Effekte von Blickbewegungen und (daraus resultierenden) perzeptuellen Verzerrungen stark in Frage gestellt. Insgesamt lässt sich die bisher angeführte Evidenz für mentale Analoga von Impuls, Schwerkraft, Gewicht, Reibung und Zentripetalkraft überzeugend durch (dynamische) Eigenschaften des menschlichen Wahrnehmungsapparates und strategischen Entscheidungen der VPn erklären. Damit werden die Gedächtnisverschiebungen durch die Fehlleistungen der repräsentierenden Prozesse, und nicht durch die Dynamik der repräsentierten Inhalte verursacht.

Literaturangaben

Finke, R. A., & Freyd, J. J. (1985). Transformations of visual memory induced by implied motions of pattern elements. Journal of Experimental Psychology: Learning and Memory Cognition, 11(4), 780-794.

Finke, R. A., & Freyd, J. J. (1989). Mental extrapolation and cognitive penetrability: reply to Ranney and proposals for evaluative criteria. Journal of Experimental Psychology: General, 118(4), 403-408.

Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. Journal of Experimental Psychology: General, 115(2), 175-188.

Freyd, J. J. (1987). Dynamic mental representations. Psychological Review, 94, 427-438.

Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational Momentum. Journal of Experimental Psychology, 10, 126-132.

Freyd, J. J., & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 13(2), 259-268.

Freyd, J. J., & Jones, K. T. (1994). Representational momentum for a spiral path. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 20(4), 968-976.

Freyd, J. J., Pantzer, T. M., & Cheng, J. L. (1988). Representing statics as forces in equilibrium. Journal of Experimental Psychology: General, 117(4), 395-407.

Hubbard, T. L. (1995a). Cognitive representation of motion: Evidence for friction and gravity analogues. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 21(1), 241-254.

Hubbard, T. L. (1995b). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal force. Psychonomic Bulletin & Review, 2(3), 322-338.

Hubbard, T. L. (1996). Representational momentum, centripetal force, and curvilinear impetus. Journal of

Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 22(4), 1049-1060.

Hubbard, T. L. (1997). Target size and displacement along the axis of implied gravitational attraction: Effects of implied weight and evidence of representational gravity. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 23(6), 1484-1493.

Hubbard, T. L., & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. Perception & Psychophysics, 44(3), 211-221.

Kelly, M. H., & Freyd, J. J. (1987). Explorations of representational momentum. Cognitive Psychology, 19, 369-401.

Kerzel, D. (2000). Eye movements and visible persistence explain the mislocalization of the final position of a moving target. Vision Research, 40(27), 3703-3715.

Kerzel, D. (2002a). A matter of design: There is no representational momentum without expectancy. Visual Cognition, 9(1), 66-80.

Kerzel, D. (2002b). Memory for the position of stationary objects: Disentangling foveal bias and memory averaging. Vision Research, 42(2), 159-167.

Kerzel, D. (eingereicht). Centripetal force draws the eyes, not memory for the target, toward the center.

Kerzel, D. (in Druck). The locus of "memory displacement" is at least partially perceptual: Effects of velocity, expectation, friction, memory averaging and weight. Perception & Psychophysics.

Kerzel, D., Jordan, J. S., & Müsseler, J. (2001). The role of perception in the mislocalization of the final position of a moving target. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27(4), 829-840.

Kosslyn, S. M. (1994). Image and brain: The resolution of the imagery debate. Cambridge, MA, USA: MIT Press.

Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Kim, I. J., & Alpert, N. M. (1995).

Topographical representations of mental images in primary visual cortex. Nature, 378(6556), 496-498.

McCloskey, M., & Kohl, D. (1983). Naive physics: The curvilinear impetus principle and its role in interactions with moving objects. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 9(1), 146-156.

Pylyshyn, Z. W. (in Druck). Mental Imagery: In search of a theory. Behavioral & Brain Sciences.

Reed, C. L., & Vinson, N. G. (1996). Conceptual effects on representational momentum. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22(4), 839-850.

Verfaillie, K., & d'Ydewalle, G. (1991). Representational momentum and event course anticipation in the perception of implied periodical motions. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 17(2), 302-313.