

## Objektstabilisierung und Timing<sup>1</sup>

H. FUCHS<sup>2</sup>, A. ZIMMER<sup>2</sup>

### Zusammenfassung, Summary

Der Transport eines schweren Gegenstands stellt, wenn der Griff unterhalb des Schwerpunkts angesetzt wird, eine schwierigere Aufgabe dar als wenn der Griff oberhalb des Schwerpunkts liegt. Wir untersuchen in einem Experiment die Frage, ob und wie sich dieser Unterschied in der Aufgabenschwierigkeit auf die Reaktionszeit sowie auf den Verlauf einer Greifbewegung auswirkt. Die Versuchspersonen greifen auf ein akustisches Signal hin ein hantelförmiges Objekt und transportieren es nach links. Es wird abwechselnd ober- und unterhalb des Objektschwerpunkts gegriffen, wobei der Ort des Greifpunkts relativ zur Versuchsperson in beiden Fällen gleich ist. Es zeigt sich, daß die Reaktionszeit bei Greifen unterhalb des Schwerpunkts im Mittel ca. 10 msec länger ist als bei Greifen oberhalb des Schwerpunkts. Der Bewegungsverlauf bei Greifen oberhalb des Schwerpunkts weist ein Überschwingen der Hand in vertikaler Richtung auf, was auf das Ausnutzen elastischer Kräfte der Muskulatur schließen läßt. Bei Greifen unterhalb des Schwerpunkts fehlt dieses Überschwingen. Die Ergebnisse legen nahe, daß die längere Bereitstellungszeit bei Greifen unterhalb des Schwerpunkts durch die Kontrolle eines zusätzlichen Freiheitsgrades, der Muskelsteifigkeit, erklärt werden kann.

Schlüsselwörter: Greifbewegungen, Wahrnehmung des Schwerpunkts von Objekten, Zeitverlauf von Handlungen

### Object stabilisation and timing in grasping movements

Transporting a heavy object is more difficult when the object is grasped below its center of gravity than when grasped above. We investigated whether this difference in task difficulty influences reaction times and trajectories of a grasping movement. In our experiment, subjects took an object on the occurrence of an acoustical signal and transported it to the left. The object was alternately grasped above and below its center of gravity, the location of the grasp relativ to the subject being the same in both conditions. Results showed that reaction times are about 10 msec longer when the object was grasped below its center of gravity than when grasped above. Analysis of the trajectories revealed an overshoot of the hand in vertical direction when the object was grasped above its center of gravity; this indicates that subjects took advantage of the elastic properties of the muscles. It was absent when the grasp was positioned below the center of gravity. Together these results suggest that an additional degree of freedom—muscle stiffness—has to be specified prior to initiation of a grasp below the center of gravity, and that this additional planning leads to the longer reaction times as compared to grasping above the center of gravity.

Key words: grasping, perception of the center of gravity in objects, time course of actions

---

<sup>1</sup>Unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft: Z:378/7-1: temporale Organisation

<sup>2</sup>Dr. Hildegard Fuchs und Prof. Dr. Alf Zimmer, Institut für Psychologie, Universität Regensburg, D-93040 Regensburg

## Einführung

Verschiedene Aspekte der Aufgabenschwierigkeit, wie etwa die Anzahl der Komponenten der auszuführenden Bewegung oder die Entfernung und Größe eines zu treffenden Zielfeldes bzw. zu greifenden Gegenstandes wurden bereits intensiv dahingehend untersucht, ob und wie sie Bereitstellungszeiten beeinflussen (Henry & Rogers, 1960; Sternberg et al., 1978, Fitts & Peterson, 1964, um nur einige zu nennen). Dem Zusammenhang zwischen anderen Arten von Aufgabenschwierigkeit und Bereitstellungszeiten wurde dagegen bisher wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Dies gilt auch für die Objektstabilisierung. Wird ein Gegenstand oberhalb des Schwerpunktes gegriffen und hochgehoben, so befindet er sich im stabilen Gleichgewicht. Es genügt in diesem Fall, wenn die Kraft des Griffes gerade groß genug ist, um die Schwerkraft zu überwinden. Anders ist die Situation, wenn der Gegenstand unterhalb des Schwerpunktes gegriffen wird. Hier muß die Kraft des Griffes nicht nur die Schwerkraft überwinden, sondern auch den Gegenstand stabilisieren. Sollte trotz Stabilisierung eine Auslenkung aus der senkrechten Lage auftreten, so muß aktiv gegengesteuert werden. Gerade bei schweren Gegenständen ist daher das Greifen unterhalb des Schwerpunktes deutlich schwieriger als das Greifen oberhalb. Dieser Aspekt der Aufgabenschwierigkeit ist deshalb besonders interessant, da er unabhängig vom Verlauf der Bewegung und der erforderlichen räumlichen Präzision ist, den beiden klassischen Faktoren der Aufgabenschwierigkeit. Zeigt sich dennoch auch in diesem Fall ein Zusammenhang zwischen Aufgabenschwierigkeit und Bereitstellungszeit, d.h. gibt es neben Greifweg und räumlicher Präzision weitere Faktoren, die die Bereitstellungszeit bestimmen? Lassen sich – trotz gleicher Geometrie der Anordnung – bereits vor dem Kontakt mit dem Objekt Unterschiede im Bewegungsverlauf feststellen?

Um diese Fragen zu untersuchen, wird ein Greifexperiment durchgeführt, bei dem Versuchspersonen ein hantelförmiges Objekt greifen und auf ein Zielfeld stellen. Das Objekt kann entweder am "Hals" oberhalb des bauchigen Mittelteils und damit oberhalb des Schwerpunktes gegriffen werden, oder am "Fuß", also unterhalb des Schwerpunktes. Durch geeignete Konstruktion und Positionierung des Objektes wird dafür gesorgt, daß alle geometrisch-physikalischen Randbedingungen des Greifens in beiden Fällen identisch sind. Unterschiede in den Bereitstellungszeiten und/oder den Bewegungsverläufen können damit eindeutig auf die unterschiedlichen Anforderungen an die Stabilisierung des Objekts zurückgeführt werden.

## Methode

### *Apparatur*

In Abb. 1 ist das verwendete Objekt schematisch dargestellt. Es besteht aus einer Stange von 3 cm Durchmesser, an der ein Mittelteil, bestehend aus insgesamt 10 verschraubten Fichtenholzscheiben, sowie je eine Fuß- und eine Deckplatte befestigt sind. Die Gesamthöhe des Objekts beträgt 48 cm, das Gewicht beträgt 3,2 kg. Wegen der Homogenität des Materials kann aus der Form direkt auf die Gewichtsverteilung geschlossen werden. Die beiden oberen und unteren Platten des Mittelteils besitzen den gleichen Durchmesser wie Fuß- und Deckplatte, so daß sich für das Greifen oberhalb und unterhalb des Mittelteils dieselbe Grifföffnung ergibt.

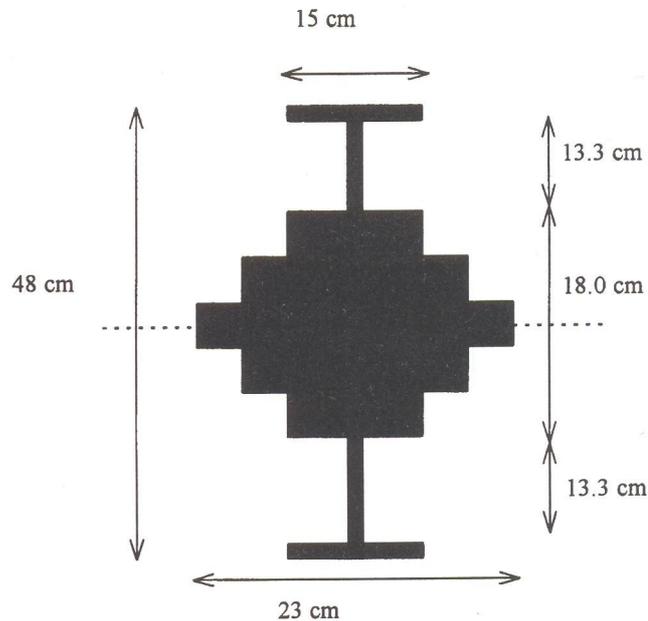


Abb. 1: Seitenansicht des zu hebenden Objektes mit Maßangaben.

### Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist zusammen mit dem verwendeten Koordinatensystem in Abb. 2 skizziert. Auf einem 75 cm hohen Tisch befindet sich 10 cm von der vorderen Tischkante entfernt ein  $12 \times 12 \times 12 \text{ cm}^3$  großes Kästchen mit dem Startschalter in der Mitte der Oberseite. Auf diesem Kästchen liegt die Hand der Versuchsperson vor Beginn der Greifbewegung und schließt dadurch einen Startschalter. Nahe der hinteren Tischkante befinden sich zwei  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  große Holzplatten, in deren Mitte ebenfalls Schalter montiert sind. Die rechte Platte ist die Startplatte, auf der das Objekt zu Beginn eines Durchgangs steht. Diese Platte liegt direkt vor dem Startkästchen und ist 36 cm vom Startschalter entfernt. Die linke Platte ist die Zielplatte, auf die die Versuchsperson das Objekt stellen soll. Der Abstand zwischen Start- und Zielplatte beträgt 31 cm. Beim Greifen oberhalb des Schwerpunktes (Abb. 2a) liegen Start- und Zielplatte auf dem Tisch. Beim Greifen unterhalb des Schwerpunktes (Abb. 2b) stehen das Objekt bzw. Start- und Zielplatte auf einem 30,5 cm hohen Kasten (E in Abb. 2b), so daß der "Fuß" des Objektes sich auf der gleichen Höhe befindet wie der "Hals" beim Greifen oberhalb des Schwerpunktes. Der Kasten zwingt die Versuchspersonen zu einer "eckigen" Greifbewegung: die Hand muß zuerst nach oben und dann nach vorne bewegt werden. Um diese Bahn auch beim Greifen oberhalb des Schwerpunktes (Abb. 2a) zu erzwingen, steht in diesem Fall vor dem Objekt ein hölzerner Schirm entsprechender Höhe.

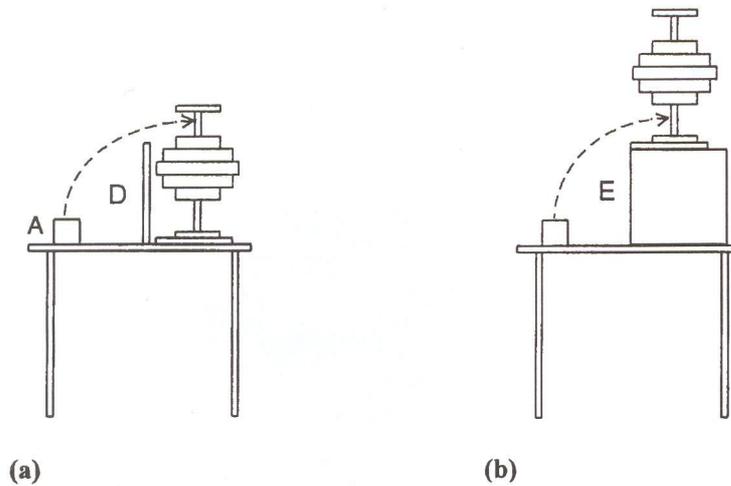


Abb. 2: Seitliche Ansicht des Versuchsaufbaus. (a) Greifen des Objekts oberhalb des Schwerpunkts, (b) Greifen unterhalb des Schwerpunkts. A: Startkästchen, D: Schirm, E: Kasten. Gestrichelt ist der ungefähre Verlauf der Greifbewegung eingezeichnet.

#### Versuchsablauf

Jede Versuchsperson nimmt an einer Sitzung mit zwei Versuchsböcken zu je 24 Durchgängen teil. Mehr Durchgänge sind nicht zweckmäßig, da das Heben des Objekts die Versuchspersonen schnell ermüdet. Jeder Block besteht aus zwei mal 12 Durchgängen. 50% der Versuchspersonen greifen während der ersten zwölf Durchgänge eines Blocks das Objekt oberhalb und während der übrigen Durchgänge unterhalb seines Schwerpunkts. Den übrigen Versuchspersonen werden die beiden Greifbedingungen in umgekehrter Reihenfolge vorgegeben.

Vor Beginn eines Durchgangs ist auf dem Computerbildschirm ein weißes Markierungskreuz sichtbar. Es verschwindet, sobald sich die Schalter im Startzustand befinden, d.h., sobald die Schalter auf dem Startkästchen und der Startplatte geschlossen sind und der Schalter auf der Zielplatte offen ist. Falls der Durchgang nicht der erste eines Blocks ist, wird nach Verschwinden des Markierungskreuzes zuerst die für den vorhergehenden Durchgang benötigte Zeit rückgemeldet, d. h. der Zeit zwischen dem Ertönen des Los-Signals und dem Schließen des Schalters auf der Zielplatte. 1,5 sec nach der Rückmeldung werden zwei Warnsignale gegeben danach das Los-Signal. Die Signale sind jeweils 50 msec lange Töne und haben einen zeitlichen Abstand von jeweils 500 msec. Das Los-Signal besitzt eine höhere Frequenz als die Warnsignale (700 Hz statt 500 Hz). Auf das Los-Signal hin greift die Versuchsperson das Objekt und transportiert es zur Zielplatte. Jeder Block enthält vier *catch trials* an zufälliger Position, bei denen das Los-Signal entfällt. Reagiert die Versuchsperson dennoch, so erscheint die Meldung "Fehler!" auf dem Bildschirm, begleitet von einem 0,5 sec langen 1000 Hz-Ton. Der Durchgang ist zu Ende, sobald der Schalter der Zielplatte durch das Objekt niedergedrückt wird. Der nächste Durchgang beginnt, wenn die Schalter wieder in den Startzustand versetzt worden sind.

Die Bewegung der Versuchsperson wird aus zwei verschiedenen Blickwinkeln von Videokameras aufgezeichnet. Die Versuchsperson trägt an der rechten Hand einen schwarzen Stoffhandschuh, auf dem unterhalb der Wurzel des Zeigefingers eine  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  große, zylindrische Rolle Reflexband aufgenäht ist. Sie dient als Marker für die Bestimmung des Bewegungsverlaufs.

#### *Versuchspersonen*

Insgesamt 20 Studentinnen und Studenten der Psychologie im Alter von 19 bis 36 Jahren nahmen an dem Versuch teil.

#### *Datenanalyse*

Für die Analyse der Bewegung wird das System der Firma "PEAK Performance" benutzt. Die Bilder werden digitalisiert und die Bewegung des Markers auf jedem der beiden Bänder bestimmt. Anschließend werden aus den Datensätzen beider Kameras die dreidimensionalen Koordinaten berechnet. Da die Digitalisierung der Bilder sehr zeitaufwendig ist, werden nur die Durchgänge des zweiten Blocks analysiert. In diesem Block sollten sich qualitative Unterschiede im Greifen ober- und unterhalb des Schwerpunkts am deutlichsten zeigen, nämlich Unterschiede, die auch nach einiger Übung bestehen bleiben und auf unterschiedliche Planung hindeuten. Wegen technischer Probleme konnten ca. 40% der Durchgänge nicht ordnungsgemäß ausgewertet werden. Der Datenausfall betrifft alle Versuchspersonen und Bedingungen gleichmäßig, so daß die ausgewerteten Bewegungsverläufe repräsentativ sind.

Die Zeitachse wird für jeden Durchgang getrennt so gewählt, daß zur Zeit  $t=140 \text{ ms}$  die y-Koordinate des Markers den Wert  $0.062 \text{ m}$  besitzt. Eine Normierung der Bewegungsdauer ist nicht möglich, da zum damaligen Zeitpunkt aus technischen Gründen die Videobänder nicht mit dem dazu nötigen Signal versehen werden konnten. Das Fehlen der zeitlichen Normierung beeinträchtigt jedoch wegen der Gleichförmigkeit der Bewegungen und des Fehlens hochfrequenter Anteile die Aussagekraft der Daten nicht wesentlich. Die Lage des räumlichen Koordinatensystems ist in Abb. 2 dargestellt. Die y-Achse zeigt senkrecht nach oben, die x-Achse läuft entlang der Verbindungslinie Startkästchen/Startplatte und zeigt von der Versuchsperson weg. Die z-Achse schließlich zeigt nach links entlang der Verbindungslinie Startplatte/Zielplatte. Der Ursprung entspricht dem mittleren Ort des Markers vor Beginn der Bewegung. Eine einzelne Bewegung beginnt in der Regel nicht genau im Ursprung, da die Größe der Hand und die Handhaltung etwas differieren.

## **Ergebnisse**

#### *Bereitstellungszeiten*

Für jede Versuchsperson werden die Mediane der Bereitstellungszeiten für die beiden Bedingungen und Versuchsblöcke bestimmt. Die getrennte Auswertung der beiden Versuchsblöcke dient dazu, Übungseffekte abzuschätzen. Die Mittelwerte sind in Abb. 3

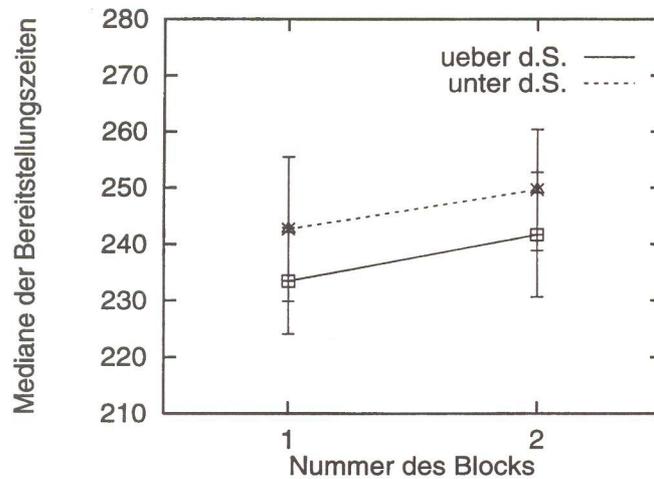


Abb. 3: Mittlere Mediane der Bereitstellungszeiten in Abhängigkeit von der Nummer des Blocks. Offene Quadrate: Greifen oberhalb des Schwerpunkts, Sterne: Greifen unterhalb des Schwerpunkts.

dargestellt. Die Quadrate kennzeichnen die Ergebnisse für Greifen oberhalb des Schwerpunkts, die Sterne diejenigen für Greifen unterhalb des Schwerpunkts. Man sieht, daß die Bereitstellungszeiten beim Greifen unterhalb des Schwerpunkts etwas (ca. 9 ms) größer sind als beim Greifen oberhalb des Schwerpunkts. Die Differenz ist für beide Versuchsblöcke gleich, verringert sich also nicht durch Übung. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren "Lage des Schwerpunkts beim Greifen" und "Nummer des Blocks" ergibt, daß diese Differenz signifikant ist ( $F=4.63$ ,  $p < 0.05$ ). Der leichte Anstieg der Bereitstellungszeiten von Block 1 zu Block 2 ist – ebenso wie die Interaktion – nicht signifikant. Er zeigt jedoch, daß die Ermüdung der Versuchspersonen schon nach einem Block von 20 Durchgängen groß genug ist, um die normalerweise beobachtete Verringerung von Reaktionszeiten durch Übung mehr als auszugleichen.

#### *Bewegungsverlauf*

Abb. 4 zeigt die gemittelten Bewegungsverläufe. Eingezeichnet sind die x-, y- und z-Koordinaten der Bewegung in Abhängigkeit von der Zeit. Die durchgezogenen Linien stellen die Bewegung beim Greifen oberhalb und die gestrichelten Linien die Bewegung beim Greifen unterhalb des Schwerpunkts dar. Die senkrechte Linie deutet den ungefähren Zeitpunkt des Erfassens des Objekts an. Die Linie ist allerdings lediglich als Anhaltspunkt zu sehen, da wegen der Mittelung über verschieden schnelle Bewegungen kein definierter Zeitpunkt des Erfassens existiert.

Um die Interpretation von Abb. 4 zu erleichtern, soll nochmals kurz der Ablauf der Bewegung in Erinnerung gerufen werden. Die Versuchsperson muß die Hand zuerst nach oben – in Richtung der y-Achse – und dann etwas nach vorne – in Richtung der z-Achse – bewegen,

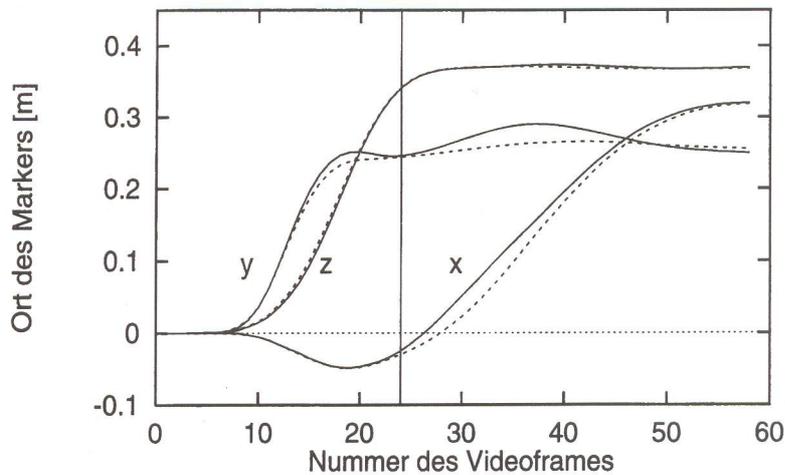


Abb. 4: Mittelwerte der x-, y- und z-Koordinaten aller Versuchspersonen. Durchgezogene Linien: Greifen oberhalb des Schwerpunkts. Gestrichelte Linien: Greifen unterhalb des Schwerpunkts.

um das Objekt zu fassen. Die Abbildung zeigt daher zuerst einen starken Anstieg der y-Koordinate gleich zu Beginn der Bewegung, die auch als erstes ein Maximum erreicht. Die z-Koordinate steigt zu einem etwas späteren Zeitpunkt an und erreicht auch später ihr Maximum. Ferner muß die Versuchsperson, um die Hand von rechts um den Hals bzw. Fuß des Objekts legen zu können, die Hand zuerst etwas nach rechts – in Richtung der negativen x-Achse – bewegen. Anschließend muß das Objekt nach links, in Richtung der positiven x-Achse, transportiert werden. Die x-Koordinate wird daher zuerst leicht negativ und steigt dann zum Fassen und Transport des Objekts wieder an. Wegen des Gewichts des transportierten Objekts erfolgt der Anstieg der x-Koordinate deutlich langsamer als derjenige der beiden anderen Koordinaten.

Man sieht, daß sich die beiden Greifbedingungen in Bezug auf den zeitlichen Verlauf der z-Koordinate nicht unterscheiden. Die Versuchspersonen greifen stets gleich schnell nach vorne, unabhängig davon, wie schwierig die später folgende Transportaufgabe ist. Auch bezüglich der x-Koordinate zeigen sich zuerst keine Unterschiede in der Greifbewegung. Erst nachdem das Objekt gegriffen ist, spalten sich die x-Werte der beiden Bedingungen auf. Beim Greifen unterhalb des Schwerpunkts wird das Objekt zuerst weniger beschleunigt als beim Greifen oberhalb des Schwerpunkts, d.h. die x-Koordinate steigt weniger schnell an. Die Versuchspersonen berücksichtigen damit, daß das Objekt "wegkippt", wenn es zu schnell beschleunigt wird.

Die einzige Koordinate, die sich bereits vor dem Kontakt mit dem Objekt je nach Greifbedingung unterschiedlich verhält, ist die y-Koordinate, die Richtung der Vertikalen. Beim Greifen oberhalb des Schwerpunkts zeigt sie eine Art "Wellenbewegung"; die Versuchspersonen bewegen die Hand zuerst etwas weiter nach oben als nötig und senken sie zum Fassen des Objekts wieder ab. Anschließend wird das Objekt ca. 5 cm angehoben und zur Zielplatte transportiert. Anders ist die Situation beim Greifen unterhalb des Schwerpunkts. Hier zeigt sich

kein Überschießen der Hand, das Objekt wird während des Transports nur wenig, im Mittel ca. 1,5 cm, angehoben.

## Diskussion

Der Unterschied im Verlauf der y-Koordinate läßt sich durch unterschiedliche Anforderungen der beiden Bedingungen an die Muskelsteifigkeit erklären: Beim Greifen oberhalb des Schwerpunkts muß das Objekt kaum stabilisiert werden, so daß die Muskelsteifigkeit gering gehalten und das elastische Verhalten der Muskulatur genutzt werden kann. Beim Greifen unterhalb des Schwerpunkts dagegen müssen die Muskeln steif sein, um das Objekt ausreichend zu stabilisieren. Elastisches Nachgeben würde es kippen lassen.

Unsere Ergebnisse stimmen im wesentlichen mit Ergebnissen der Literatur überein, die zeigen, daß unterschiedliche Anforderungen an eine Greifaufgabe – etwa Greifen eines stabilen Objekts versus Greifen eines zerbrechlichen Objekts – sich in der Regel in der zweiten Hälfte der Bewegung, während der Verlangsamung, bemerkbar machen, nicht aber während der Beschleunigungsphase (siehe etwa Jeannerod, 1988; Marteniuk, Leavitt, MacKenzie & Athenes, 1990).

Für die Bereitstellungszeiten ergibt sich ein über beide Versuchsblöcke stabiler Unterschied von 9 msec. Für die Interpretation der Daten ist es wichtig zu wissen, ob dieser Unterschied durch zentrale Prozesse verursacht wird oder ob periphere Faktoren dafür verantwortlich sind. Es gibt in der Literatur Hinweise, die dafür sprechen, daß zumindest ein Teil des Unterschieds auf zentrale Prozesse zurückgeht. Studien, die sowohl *pre motor time* als auch Reaktionszeiten bestimmten, zeigen, daß – vorausgesetzt die Reaktionszeit wird mit Hilfe des gleichen Effektors gemessen – Reaktionszeitunterschiede sich stets auch in den *pre motor times* wiederfinden (etwa Anson, 1982; Fischman, 1984; Christina & Rose, 1985; Sidaway, Christina & Shea, 1988). Ferner verläuft die Greifbewegung während der ersten 100 msec für Greifen oberhalb und unterhalb des Schwerpunkts gleich, so daß Reaktionszeitunterschiede aufgrund verschiedener Bewegungsverläufe unplausibel erscheinen. Es ist daher anzunehmen, daß die längeren Bereitstellungszeiten bei Greifen unterhalb des Schwerpunkts durch längere Planungszeiten verursacht werden.

Insgesamt lassen sich die Ergebnisse damit folgendermaßen interpretieren: Bei Greifen oberhalb des Schwerpunkts würde eine unangepaßte – in diesem Fall zu hohe – Muskelsteifigkeit die Aufgabe lediglich behindern, nicht aber scheitern lassen. Eine genaue Kontrolle der Muskelsteifigkeit ist daher nicht erforderlich. Wird der Griff jedoch unterhalb des Schwerpunkts angesetzt, so kann die Aufgabe ohne ausreichende Muskelsteifigkeit nicht durchgeführt werden. Diese muß daher relativ genau kontrolliert werden. Anders ausgedrückt, bei Greifen unterhalb des Schwerpunkts muß ein Freiheitsgrad mehr festgelegt werden, die Planungszeit wird verlängert. Tatsächlich entspricht der gefundene Unterschied in den Bereitstellungszeiten von ca. 10 ms sehr gut dem Betrag, der nach bisherigen Ergebnissen für die Planung einer zusätzlichen Komponente bzw. eines Bewegungselements zu erwarten ist (siehe etwa Henry & Rogers, 1960; Sternberg et al., 1978; Ulrich, Giray & Schäffer, 1990).

**Literatur**

1. Anson, J.G.: Memory drum theory: Alternative tests and explanations for the complexity effects on simple reaction time. *Journal of Motor Behavior*, 11, 1982, 261-267.
2. Christina, R.W., Rose, D.J.: Premotor and motor reaction time as a function of response complexity. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56, 1985, 306-315.
3. Fischman, M.G.: Programming time as a function of number of movement parts and changes in movement direction. *Journal of Motor Behavior*, 16, 1984, 405-423.
4. Fitts, P.M., Peterson, J.R.: Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, 67, 1964, 103-112.
5. Henry, F.M., Rogers, D.E.: Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, 31, 1960, 448-458.
6. Jeannerod, M.: *The neural and behavioral organization of goal directed movements*. Oxford: Clarendon Press, 1988.
7. Marteniuk, R.G., Leavitt, J.L., MacKenzie, C.K., Athenes, S.: Functional relationships between grasp and transport components in a prehension task. *Human Movement Science*, 9, 1990, 149-176.
8. Sidaway, B., Christina, R.W., Shea, J.B.: A movement constraint interpretation of the response complexity effect on programming time. In: A.M. Colley and J.R. Beech (Hrsg.): *Cognition and Action in Skilled Behavior*. Amsterdam: North Holland, 1988, 87-102.
9. Sternberg, S., Monsell, S., Knoll R.L., Wright, C.E.: The latency and duration of rapid movement sequences: Comparison of speech and typewriting. In: Stelmach, G.E. (Hrsg.): *Information processing in motor control and learning*. New York: Academic Press, 1978, 117-152.
10. Ulrich, R., Giray, M., Schäffer, R.: Is it possible to prepare the second component of a movement before the first one? *Journal of Motor Behavior*, 22, 1990, 125-148.