

endnote #

**Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft**

Herausgeber: Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft

ISSN 1430-2225

---

Band 79

Eberhard Loosch/Michaela Tamme (Hrsg.)

# **Motorik – Struktur und Funktion**

4. Symposium der dvs-Sektion Sportmotorik  
vom 25. – 27.1.1996 in Erfurt

Czwalina Verlag Hamburg

Die Veranstaltung wurde vom Institut für Sport- und Bewegungswissenschaften der Pädagogischen Hochschule Erfurt ausgerichtet. Die Durchführung wurde u.a. vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp, Köln) unterstützt.

Redaktion: Frederik Borkenhagen

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Deutscher Vereinigung für Sportwissenschaft / Sektion Sportmotorik:**

... Symposium der Dvs-Sektion Sportmotorik ... – Hamburg : Czwalina

Bis 2 (1994) im Academia-Verl., Sankt Augustin

4. Motorik – Struktur und Funktion. – 1997

**Motorik – Struktur und Funktion** : vom 25. – 27.1.1996 in Erfurt / Eberhard Loosch/Michaela Tamme (Hrsg.). [Die Veransth. wurde vom Institut für Sport- und Bewegungswissenschaften der Pädagogischen Hochschule Erfurt ausgerichtet].

– Hamburg : Czwalina, 1997

(... Symposium der Dvs-Sektion Sportmotorik ... ; 4) (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft ; Bd. 79)

ISBN 3-88020-287-7 kart.

ISSN 1430-2225

ISBN 3-88020-287-7

1. Auflage Hamburg 1997

Alle Rechte vorbehalten

Nachdruck und fotomechanische Vervielfältigung, auch auszugsweise, verboten

© Copyright by Czwalina Verlag

Eine Edition im FELDHAUS VERLAG, Postfach 73 02 40, 22122 Hamburg

Printed in the Federal Republic of Germany

Druck und Verarbeitung: WERTDRUCK, Hamburg

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

## Inhalt

Vorwort	9
<b>I Hauptreferate</b>	
EBERHARD LOOSCH Struktur und Funktion der Bewegung	13
JAN W.I. TAMBOER Die menschliche Bewegung in der Bewegungsforschung – Über den Zusammenhang von Menschenbild, Bewegungsauffassung und Untersuchungsmethoden	23
HERBERT HEUER Strukturelle Randbedingungen der Koordination	39
ERNST-JOACHIM HOSSNER Funktionale Strukturen – Module der Motorik	53
<b>II Wahrnehmung und Bewegung</b>	
THOMAS SCHINAUER Zielbewegungskoordination ganzheitlich betrachtet	67
NORBERT OLIVIER Zur Fertigkeitsspezifität der Gleichgewichtsregulation	72
KURT KOHL Sensumotorik und Lernen im Sport	76
<b>III Variabilität und motorische Kontrolle</b>	
GERHARD RINKENAUER/ROLF ULRICH/ALAN M. WING Zentrale und periphere Quellen der Variabilität von isometrischen Bewegungen	83
JÜRGEN KONCZAK/JOHANNES DICHGANS Das Erlernen stereotyper kinematischer Bewegungsmuster bei Greifbewegungen in der Ontogenese	87
MATHIAS REISER/HERMANN MÜLLER/REINHARD DAUGS Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz bei Wurfbewegungen	92
<b>IV Interne Bewegungsrepräsentation</b>	
KLAUS BLISCHKE Zum Verhältnis von Übung und Bewegungsautomatisierung: Was leisten einschlägige Repräsentationsannahmen?	99
HERMANN KÖRNDLE/SUSANNE NARCISS Tragfähigkeit und Grenzen von Repräsentationsannahmen in der Bewegungsforschung	107
JÖRN MUNZERT Ein computationaler Ansatz zur Differenzierung von (Bewegungs-)Vorstellungen	113
dvs Band 79 © Edition Czwalina	5

## Zentrale und periphere Quellen der Variabilität von isometrischen Bewegungen

### 1 Problemstellung

Wiederholte Zielbewegungen weichen in der Regel zufällig von einem beabsichtigten Bewegungsziel ab. Diese zufällige Variabilität ist unvermeidbar, und sie läßt sich selbst bei hochgeübten Bewegungsabläufen beobachten. Der Ursprung dieser Variabilität ist ungeklärt, er könnte sowohl peripherer als auch zentraler Natur sein (NEWELL/CARLTON/HANCOCK 1984).

SCHMIDT u.a. (1979) versuchten erstmals diese Anteile bei ballistischen Zielbewegungen zu erfassen. In ihrer Untersuchung mußten Versuchspersonen gleichzeitig mit beiden Händen solche Zielbewegungen durchführen. In jedem Versuchsdurchgang erfaßten die Autoren die Bewegungszeit und die Bewegungsamplitude jeder Hand. Die zentralen Anteile der Variabilität wurden über den Determinationskoeffizienten ( $r^2 \times 100$ ) bestimmt. Die Bewegungszeiten beider Hände korrelierten zu 0.83, was einem Determinationskoeffizienten von ca. 69% ( $0.83^2 \times 100$ ) entspricht. Dies deutet darauf hin, daß die zentrale Variabilität der Bewegungszeit mindestens 69% beträgt (vgl. SCHMIDT u.a. 1979). Der überwiegende Anteil der Bewegungszeitvariabilität bei Zielbewegungen entsteht daher auf einer zentralen Ebene. Im Gegensatz dazu war die Korrelation der Bewegungsamplituden beider Hände nahezu Null, was nahelegt, daß die Variabilität der Bewegungsamplitude hauptsächlich durch handspezifische oder periphere Parameter bestimmt ist.

In dieser Arbeit soll überprüft werden, ob sich ähnliche Varianzanteile auch bei ballistischen isometrischen Zielbewegungen nachweisen lassen. Eine solche Verallgemeinerung erscheint sinnvoll, da sich räumliche und zeitliche Fehler in der Ausführung von Zielbewegungen auf kinetische Faktoren zurückführen lassen (CARLTON/NEWELL 1993).

In unserem Experiment führten Versuchspersonen bimanuelle isometrische Zielbewegungen durch. In jedem Versuchsdurchgang wurden die Versuchspersonen angewiesen, gleichzeitig mit dem Zeigefinger der linken und rechten Hand einen Kraftstoß zu erzeugen, wobei die Zielkraft vorgegeben wurde. Die Anstiegszeit der Kraft, d.h. die Zeit, bis das Kraftmaximum einer einzelnen Reaktion erreicht ist, sollte etwa 100 ms betragen. Dieser Wert entspricht annähernd der minimal möglichen Anstiegszeit (FREUND/BÜDINGEN 1978). Für jede Hand wurden die tatsächlich benötigte Anstiegszeit, die Kraftamplitude und die Fläche unter der Kraft-Zeit-Funktion gemessen, und es wurde der korrelative Zusammenhang dieser Variablen für beide Hände bestimmt. Nach SCHMIDT u.a. (1979) ist zu erwarten, daß der zentrale Variabilitätsanteil diesen Zusammenhang determiniert. Entsprechend den Befunden dieser Autoren sollte der zentrale Anteil insbesondere für die Anstiegszeit größer als 50% sein.



## 2 Experiment

**Versuchspersonen.** An der Untersuchung nahmen 8 Versuchspersonen teil (3 w, 5 m, mittleres Alter = 29.9 Jahre). Sie erhielten 7,50 DM pro Stunde. Zwei der Versuchspersonen waren Linkshänder. Die Versuchspersonen führten eine Trainings-sitzung und drei experimentelle Sitzungen durch. Jede Sitzung dauerte etwa eine halbe Stunde.

**Apparatur und Versuchsablauf.** Beide Unterarme der Versuchsperson ruhten auf einer Tischplatte und die Zeigefinger beider Hände lagen auf kraftsensitiven Reaktionstasten. Das Signal jeder Krafttaste wurde mit einer Frequenz von 500 Hz abgetastet, wobei das Auflösungsvermögen einer Taste etwa 2 cN betrug.

Zu Beginn jeder Sitzung wurde die maximale Flexionskraft jedes Zeigefingers bestimmt. Hierzu wurden die Versuchspersonen gebeten, beide Krafttasten gleichzeitig mit dem Zeigefinger der linken und der rechten Hand kurz und so kräftig wie möglich zu betätigen. Der Mittelwert eines Fingers über fünf Flexionen diente als maximale Flexionskraft für die jeweilige Sitzung.

In jeder Sitzung wurde eine Zielkraft verwendet. Diese war entweder 10, 26 oder 50% der maximalen Flexionskraft. Während einer Sitzung sollten 50 korrekte Zielbewegungen ausgeführt werden. Eine Zielbewegung wurde als korrekt zurückgemeldet, wenn die Kraftamplituden beider Hände innerhalb eines definierten Zielfensters waren ( $\pm 20\%$  der Zielkraft, sowie  $\pm 20\%$  der Zielanstiegszeit). Durchgänge bis zum 15. korrekten Durchgang wurden als Übungsdurchgänge gewertet. Danach waren im Mittel 65 Versuche notwendig, um weitere 35 korrekte Durchgänge zu erzielen.

Nach jedem Durchgang wurden beide Kraftkurven als Rückmeldung für die Versuchsperson auf einem Bildschirm dargestellt. Diese Darstellung enthielt auch den Zielkraftbereich für die Kraftamplitude. Alle anderen Details entsprachen dem Versuchsaufbau von ULRICH/WING/RINKENAUER (1995, Experiment 3).

## 3 Ergebnisse

Für jeden Durchgang und jede Hand wurden die Kraftamplitude, die Anstiegszeit und die Fläche unter der Kraftkurve (Impuls) ermittelt. In die Analyse der Daten wurden alle Durchgänge nach der Übungsphase einbezogen, die nicht mehr als plus minus 3 Standardabweichungen vom Mittelwert der Kraftamplitude und vom Mittelwert der Anstiegszeit entfernt waren.

Abb. 1 zeigt exemplarisch die Ergebnisse bzgl. der Kraftamplituden einer Versuchsperson. In diesem Streudiagramm sind die Kraftamplituden der linken Hand gegen die Kraftamplituden der rechten Hand abgetragen. Die Korrelation für diese Daten beträgt 0.64, was einem Determinationskoeffizienten von 41% entspricht. Danach sind 41% der Kraftamplitudenvarianz auf eine gemeinsame Varianzquelle zurückzuführen, die sich als zentrale Variabilität interpretieren läßt. Analoge Analysen wurden für alle drei Variablen durchgeführt. In allen Fällen wurden positive Korrelationskoeffizienten festgestellt, die alle signifikant größer als Null waren.

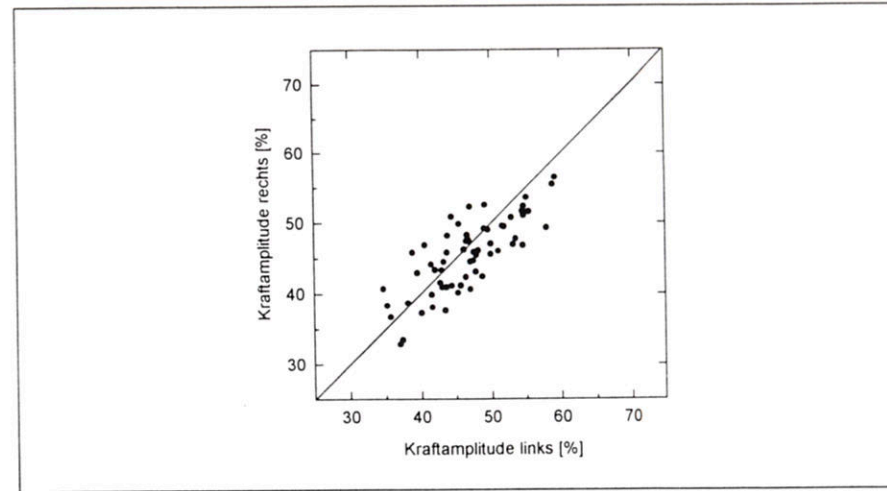


Abb. 1: Streudiagramm für die Kraftamplituden der linken und rechten Hand bei einer Zielkraft von 50% der maximalen Flexionskraft

In Tab. 1 ist der Prozentsatz der gemeinsamen Varianz für alle abhängigen Variablen als Funktion der Zielkraft dargestellt. Dieser Prozentsatz ist in allen Fällen kleiner als 50%, jedoch deutlich größer als Null.

Tab. 1: Anteile gemeinsamer Varianz in Abhängigkeit von der Zielkraft

Zielkraft [% max. Kraft]	Anstiegszeit [%]	Kraftamplitude [%]	Impuls [%]
10	31.5	41.3	36.5
26	32.8	35.3	25.6
50	45.7	39.8	34.9

Um zu überprüfen, ob die gemeinsame Varianz mit der Zielkraft variiert, wurden die Korrelationskoeffizienten jeder Variablen einer einfaktoriellem Varianzanalyse mit dem Faktor „Zielkraft“ unterzogen. Diese Analyse ergab keinen signifikanten Effekt für die Anstiegszeit [ $F(2,7) = 1.15$ ,  $p = 0.344$ ], die Kraftamplitude [ $F(2,7) = 0.23$ ,  $p = 0.796$ ] oder die Impulsgröße [ $F(2,7) = 0.74$ ,  $p = 0.495$ ]. Die gemeinsame Varianz dieser abhängigen Variablen scheint daher nicht von der Zielkraft abzuhängen.

## 4 Diskussion

In dieser Untersuchung wurde überprüft, ob die Variabilität bei isometrischen Zielbewegungen eher auf einer peripheren oder zentralen Ebene entsteht. Um diese Frage zu beantworten, haben wir einen experimentellen Ansatz von SCHMIDT u.a. (1979) auf isometrische Bewegungen übertragen. Hierbei wurden Versuchspersonen angewiesen, bimanuelle isometrische Zielbewegungen auszuführen.



Für jede Hand wurde eine Kraftkurve aufgezeichnet und damit die Kraftamplitude, die Anstiegszeit der Kraft und der Impuls bestimmt. Es wurde dann für diese Variablen die Korrelation zwischen beiden Händen berechnet. Nach SCHMIDT u.a. (1979) läßt sich der Determinationskoeffizient als gemeinsame zentrale Varianz interpretieren. Dieser stellt eine untere Grenze des prozentualen Varianzanteils einer Variablen dar, der durch zentrale Prozesse verursacht wird. Unsere Ergebnisse zeigen, daß ein relativ kleiner Anteil (ca. 30-40%) der Bewegungsvariabilität isometrischer Zielbewegungen auf zentrale Prozesse zurückgeführt werden kann. Im Rahmen dieser Interpretation ist der größere Anteil auf periphere oder handspezifische zentrale Prozesse zurückzuführen.

Im Vergleich zu der Untersuchung von SCHMIDT u.a. (1979) legen unsere Ergebnisse eine kleinere zentrale Variabilität nahe. Weiterhin zeigt unsere Untersuchung, daß diese Variabilität bei allen drei Variablen etwa gleich groß ist. Beide Ergebnisse sind mit denen von SCHMIDT u.a. (1979) inkompatibel. Diese Autoren beobachteten nämlich eine relativ große gemeinsame Varianz zwischen den Bewegungszeiten beider Hände. Daraus schlossen sie, daß die zeitlichen Aspekte einer Zielbewegung eher durch zentrale Faktoren bestimmt seien. Außerdem ermittelten sie eine vernachlässigbar kleine gemeinsame Varianz für die Bewegungsweite der Zielbewegungen und argumentierten deshalb, daß die räumlichen Aspekte einer Zielbewegung durch periphere oder handspezifische Faktoren bestimmt seien. Diese Hypothesen legen einen ähnlichen Unterschied für Zeit- und Intensitätspareparameter auf einer kinetischen Ebene nahe. Allerdings konnte die Vorhersage nicht bestätigt werden, da unsere Ergebnisse keinen Unterschied in der zentralen Variabilität von Kraftamplitude und Anstiegszeit erkennen lassen.

Ob diese inkompatiblen Ergebnisse zwischen beiden Studien in der Bewegungsart begründet sind, läßt sich aufgrund der Ergebnisse unserer Untersuchung nicht abklären, da z.B. andere Muskelgruppen bei der Ausführung von bimanuellen Armbewegungen beteiligt sind als bei bimanuellen Zeigefingerflexionen. In zukünftigen Untersuchungen sollen daher vergleichbare Versuchssituationen hergestellt werden, um festzustellen, ob der Anteil der zentralen oder peripheren Variabilität an der gesamten Bewegungsvariabilität bei kinematischen und kinetischen Aufgaben unterschiedlich ist.

## Literatur

- CARLTON, L.G./NEWELL, K.M.: Force variability and characteristics of force production. In: NEWELL, K.M./CORCOS, D.M. (Hrsg.): Variability and motor control. Champaign, IL 1993, 15-36
- FREUND, H.-J./BÜDINGEN, H.J.: The relationship between speed and amplitude of the fastest voluntary contractions of human arm muscles. In: Experimental Brain Research 31 (1978), 1-12
- NEWELL, K.M./CARLTON, L.G./HANCOCK, P.A.: Kinetic analysis of response variability. In: Psychological Bulletin 96 (1984), 133-151
- SCHMIDT, R.A./ZELAZNIK, H.N./HAWKINS, B./FRANK, J.S./QUINN, J.T. JR.: Motor-Output Variability: A Theory for the Accuracy of Rapid Motor Acts. In: Psychological Review 86 (1979), 415-451
- ULRICH, R./WING, A./RINKENAUER, G.: Amplitude and Duration Scaling of Brief Isometric Force Pulses. In: Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance 21 (1995), 1457-1472

JÜRGEN KONCZAK/JOHANNES DICHGANS

## Das Erlernen stereotyper kinematischer Bewegungsmuster bei Greifbewegungen in der Ontogenese<sup>1</sup>

### 1 Wie wird Koordination erworben?

Das motorische System des Menschen ist redundant. Daraus folgt, daß jede Lösung eines motorischen „Problems“ (also die Auswahl einer bestimmten mehrgelenkigen Bewegungssequenz) nicht eindeutig ist (BERNSTEIN 1988; SOECHTING 1989). Zum Beispiel kann bei Zeigebewegungen eine infinite Anzahl proximaler Gelenkkonfigurationen eine identische Trajektorie der Hand erzeugen (Gelenk-Redundanz). Oder, identische Drehmoment-Zeitverläufe können durch die Aktivierung unterschiedlicher motorischer Einheiten generiert werden (muskuläre Redundanz). Bis heute ist nicht eindeutig geklärt, wie das zentrale Nervensystem (ZNS) dieses Problem der „redundanten Freiheitsgrade“ löst. Eine Möglichkeit ist, daß das System bestimmte Bewegungslösungen *a priori* ausschließt, da sie bestimmten Optimierungskriterien nicht genügen (z.B. minimale Energie, minimale Beschleunigungsänderung). Diese Kriterien werden als koordinative Einschränkungen („coordinative constraints“) verstanden und sind in der Regel aufgabenspezifisch. Als Konsequenz dieser koordinativen Einschränkungen zeigen viele alltäglichen Bewegungen, wie das Ergreifen eines Gegenstandes mit der Hand, stereotype kinematische und kinetische Bewegungsmuster (KONCZAK/BORUTTA/TOPKA/ DICHGANS 1995; KONCZAK/THELEN 1994; MORASSO 1983).

Wir wissen nicht, wie diese stereotypen Bewegungsmuster erworben werden. Die Antwort auf diese Frage ist in der frühkindlichen Entwicklung zu suchen, da die Ontogenese der einzige Zeitpunkt im Leben eines Menschen ist, in dem wirklich neue Bewegungsmuster angeeignet werden. Neugeborene beginnen zwischen dem 4.-6. Lebensmonat erste zielgerichtete Greifbewegungen nach Gegenständen in ihrer Umgebung auszuführen. Diese ersten Greifbewegungen besitzen nicht die kinematische Konsistenz und Invarianz, die die Motorik Erwachsener auszeichnet. Die frühkindlichen Handtrajektorien sind segmentiert, die korrespondierenden Geschwindigkeitsprofile sind nicht „eingipflig“ (unimodal) wie bei Erwachsenen (siehe Abb. 1). Frühere Arbeiten (FETTERS/TODD 1987; HOFSTEN 1979; HOFSTEN 1991) und unsere eigenen Studien (KONCZAK/BORUTTA/DICHGANS 1997; KONCZAK et al. 1995; KONCZAK/DICHGANS 1997) demonstrieren eindeutig, daß Kleinkinder mit zunehmender Erfahrung ihre Armbewegungen „glätten“, und Zeige- und Greifbewegungen mit unimodalen Geschwindigkeitsprofilen der Hand anstreben.

<sup>1</sup> Unterstützt durch Sonderforschungsbereich 307 A3 der Deutschen Forschungsgemeinschaft.