

<http://www.biowiss-sport.de/forschungsprojekte-arbeiten/sportmotorik>

KLAUS WIEMANN

Zum Phänomen der Bewegungsvorstellung aus hirnbioologischer Sicht

1 Vorbemerkung

Das im Thema angesprochene Ansinnen, die Bewegungsvorstellung, ein Phänomen also, zu dem sich üblicherweise nur aus phänomenologischer Sicht ein Zugriff eröffnet, naturwissenschaftlich zu beleuchten, setzt eine erkenntnistheoretische Standortbestimmung zum psychophysischen Problem voraus: Obwohl heute in der neurobiologischen Literatur vereinzelt wieder dualistische Standpunkte vertreten werden, wie etwa der psychophysische Interaktionismus ECCLES' (1985), wird im folgenden eine streng monistische Position in Form des Identismus vertreten. Diese Position geht von der Annahme aus, daß spezifische neuronale Prozesse mit korrelierenden subjektiven, durch Introspektion erfahrbaren Zuständen oder Vorgängen identisch sind. Gemäß dem Standpunkt des Identismus muß sich demnach auch das hier zur Debatte stehende Phänomen von zwei Blickrichtungen aus betrachten lassen und zwar phänomenologisch und hirnbioologisch. Beide Bemühungen müßten einander entsprechende Befunde liefern.

2 Bewegungsvorstellung aus phänomenologischer Sicht

Wenn im folgenden der Begriff "Bewegungsvorstellung" verwendet wird, dann ist in jedem Fall die Vorstellung vom Vollziehen der eigenen Körperbewegung gemeint, nicht etwa die Vorstellung, die man sich von der (visuell registrierten) Bewegung einer anderen Person macht. Man müßte also exakter von "eigenmotorischer Vorstellung" sprechen. Nach psychologischer Definition ist "Vorstellung" eine Erinnerung an vormals gehabte Empfindungen, Wahrnehmungen und Erfahrungen, bzw. das absichtliche Wiederhervorrufen oder das unwillkürliche Wiederauftauchen von vergangenen Sinneseindrücken im Bewußtsein (DREVER/FRÖHLICH 1971). Die eigenmotorische Vorstellung ist demnach das absichtliche Wiederhervorrufen oder das unwillkürliche Wiederauftauchen derjenigen Sinneseindrücke und Wahrnehmungsinhalte im Bewußtsein, die während (oder auch unmittelbar nach) einer motorischen Aktion registriert und gespeichert wurden. Die Zusammensetzung des multimodalen Komplexes "eigenmotorische Wahrnehmung" ist Abbildung 1 zu entnehmen. Wie dort überwiegen auch im multimodalen Komplex der Bewegungsvorstellung (als der zentralen Repräsentation der eigenmotorischen Wahrnehmung) somästhetische Inhalte. Einige Befunde, die sich bei der Bildung der Bewegungsvorstellung beobachten lassen, müssen erwähnt werden:

In der Regel wird im sportmotorischen Bereich die Bewegungsvorstellung wenige Sekunden vor der Realisierung solcher Fertigkeiten produziert, deren Ablauf noch nicht automatisiert ist, etwa in Form eines oder mehrerer mentaler Probeabläufe. Vor der Realisierung

automatisierter Bewegungen kann die Produktion einer Bewegungsvorstellung völlig fehlen, oder es genügt die interne Repräsentation eines Teilabschnittes der Bewegungsvorstellung oder eines symbolischen Stellvertreters (GREENWALD 1970; VOLPERT 1971).

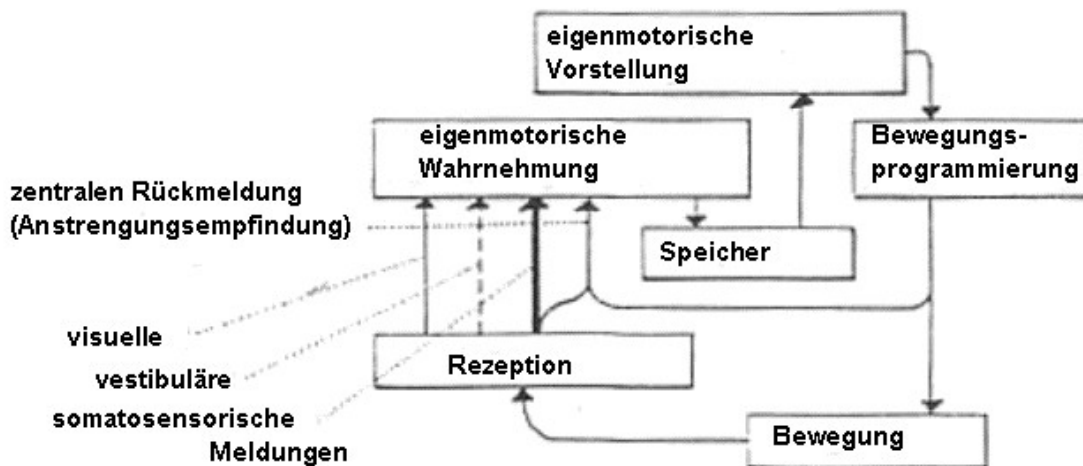


Abb. 1: Eigenmotorische Wahrnehmung und Vorstellung als multimodales mentales Phänomen

Der Bewegungsvorstellung kommt somit eine Funktion in der Vorbereitung kommender Bewegungsabläufe zu. An das Bilden der Bewegungsvorstellung ist die Tendenz gekoppelt, die vorgestellte Bewegung äußerlich zu realisieren, ohne daß dies bewußt gewollt wurde (CARPENTER-Effekt; ideomotorisches Gesetz; s. u.a. DORSCH 1970; GREENWALD 1970). Diese - ungewollte - Realisierung der vorgestellten Bewegung scheint immer dann gesetzmäßig zu folgen, wenn mit der Bildung der Bewegungsvorstellung nicht gleichzeitig auch ein zusätzlicher mentaler Akt präsent ist, die vorgestellte Bewegung nicht zu produzieren. Offensichtlich löst die Bildung der Bewegungsvorstellung automatisch die Programmierung der vorgestellten Bewegung aus. Der gleichzeitig mit der Bildung der Bewegungsvorstellung mental präsente Verhaltensplan, sich nicht zu bewegen, scheint die Koppelung von Bewegungsvorstellung und äußerer - muskulärer - Realisierung zu blockieren. Dieser Block kann total funktionieren, aber auch graduell - je nach Konzentration und Motivation - abgeschwächt sein, so daß die Bewegung in Teilen oder im Ansatz realisiert wird. Die Bewegungsvorstellung scheint also gleichsam am Ende der rezeptiv-perzeptiven Kette und ebenso am Anfang der motorischen Strecke zu Stehen (siehe Abb. 1)

3 Hirnfunktion zur Bewegungssteuerung

Aus der Sicht des Identismus ist nun derjenige Hirnabschnitt (Abb. 2) zu suchen, dessen neuronale Aktivität mit der Bildung der Bewegungsvorstellung identisch ist.

Dieser Hirnabschnitt müßte:

- vornehmlich somatosensorische Informationen verarbeiten,
- eine entsprechende Zeitspanne vor Beginn der Bewegung aktiv sein, aber nicht notwendigerweise bei automatisierten Bewegungen,
- sowohl am Ende der afferenten neuronalen Kaskade als auch am Anfang der efferenten Kaskade funktionieren,

- direkt Efferenzen zu denjenigen Hirnabschnitten schicken, die (ohne Beteiligung des Bewußtseins) die intendierte Bewegung durch Bilden der efferenten Impulsmuster programmieren und exekutieren und schließlich
- aktiv sein, wenn die untersuchte Person die Aufgabe bekommt, sich eine Bewegung lediglich vorzustellen.

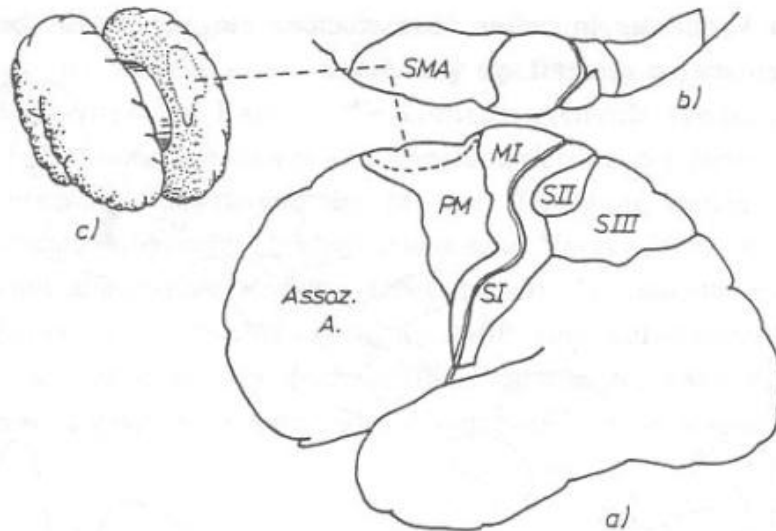


Abb. 2: Motorische und somatosensorische Areale der Großhirnrinde a) laterale Sicht der linken Hemisphäre, b) Medianansicht der intrafissuralen Rinde, c) gesamte Hirnansicht von vorn oben bei erweiterter Fissura. Assoz. A.: frontale Assoziationsrinde. MI: primärmotorische Rinde der vorderen Zentralwindung. PM: prämotorische Rinde. SI, SII und SIII. primäre, sekundäre und tertiäre (assoziative) somatosensorische Rinde. SMA: supplementäres motorisches Feld (verändert nach WISE 1985; EVARTS 1981).

Abbildung 3 soll die cerebralen, speziell die kortikalen Aktivitäten darstellen, die sich durch EEG- und rCBF-Technik vor Beginn selbstterminierter motorischer Aufgaben registrieren lassen. Zur Bewertung dieser Großhirnfunktionen soll rückwärts vorgegangen werden (Erklärung der Abkürzungen s. Abb. 2 und 3): Die Potentiale (evP) nach Bewegungsstart (BS) spiegelt das Einlaufen der vorwiegend somatosensorischen Rückmeldungen zu SI, SII und SIII und - allerdings einige ms später - zum SMA wieder. Das Erscheinen der MP 50 - 10 ms vor BS über MI entspricht offensichtlich dem Bewegungsstart durch die PT-Neurone. Aus diesem Grunde ist die deutliche Kontralateralität und somatotopische Gliederung verständlich. Die pmP 100 ms vor BS wird neuerdings von DEECKE (1985) als kortikales Entspannungspotential gewertet, was bedeuten soll, dass

- nachdem das SMA und die Assoziationsfelder ihre Aufgabe zur Vorbereitung der kommenden Bewegung erfüllt haben - die neuronale Kaskade das SMA verlassen hat und kurzfristig in tiefere Hirnschichten eingetaucht ist, bevor die MI die Bewegung zu starten in der Lage ist.

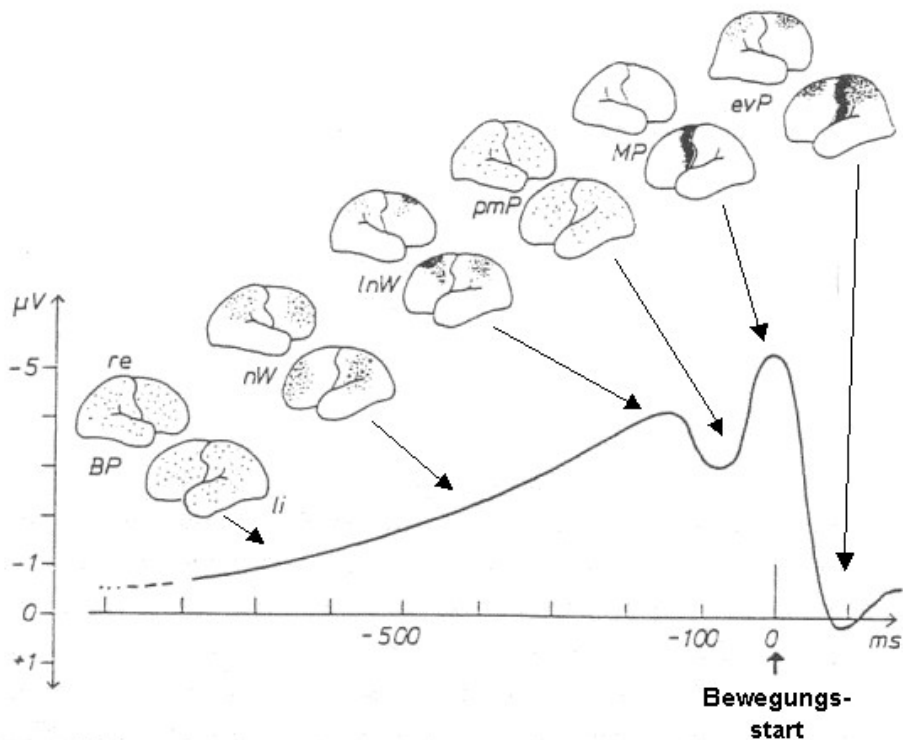


Abb. 3: Aktivität der Großhirnrinde in der Vorbereitungsphase für eine Bewegung. Unterer Kurvenverlauf. geglättetes EEG nach KORNHUBER DEECKE (1965) und SHIBASAKI u.a. (1980). Obere Reihe: Darstellung der Hirnrindenregionen, über denen die EEG-Phänomene verstärkt abgeleitet wurden. Die Regionen sind mit den in Abb. 2 dargestellten zu vergleichen. Die Dichte der Punktierung soll die Intensität der Potentiale andeuten. Der Rechts-Links-Vergleich gibt Auskunft über die Kontralateralität. BP: Bereitschaftspotential. nW: negative Welle und InW. späte negative Welle des Bereitschaftspotentials mit beginnender (nW) und deutlicher (InW) Kontralateralität. pmP: prämotorische Positivierung. MP: Motorpotentiale, deutlich kontralateral und somatotopisch gegliedert. cyP: reafferentativ evozierte Potentiale; die Kontralateralität in der Somatotopie nimmt mit aufsteigender Kaskade von SI über SII und SIII bis SMA ab.

Die InW über dem SMA scheint Ausdruck der Funktion derjenigen Hirnstation zu sein, die am Ende der assoziativen Vorbereitung der Bewegung steht und auf die sich am Ende der neuronalen Kaskade die kortikale Aktivität konzentriert, bevor die subkortikalen Funktionsgeneratoren die Programmierung der Bewegung durchführen und die erstellten Programme der MI zur Verfügung stellen. Die frühen Negativitäten bedeuten offensichtlich eine strategische Vorbereitung der Bewegung bzw. einen Zustand allgemeiner Bewegungsbereitschaft. Da nun die Funktion von MI nicht bewußtseinsfähig ist, ebenso für die pmP kein korrelierendes Bewußtseinsphänomen beschrieben werden kann, **ist die Funktion des SMA die letzte mit Bewußtseinsprozessen gekoppelte Hirnrindenaktivität vor dem Bewegungsstart.**

4 Synopse von Bewegungsvorstellung und Hirnrindenaktivität

Die letzte Feststellung des vorangegangenen Abschnittes zeigt eine erste identische Eigenschaft bei Bewegungsvorstellung und Hirnaktivität, nämlich die kausale Verknüpfung zur Programmierung und Exekution der Bewegung. Morphologisch äußert sich diese Verknüpfung in den efferenten Verbindungen des SMA a) zu den Basalganglien durch die kortiko-striären Bahnen und b) zum Kleinhirn auf dem Weg über die kortiko-pontinen Bahnen, also zu den subkortikalen Funktionsgeneratoren der Zielmotorik. Somit wird deutlich, daß die

Funktion des SMA den Anstoß zur Programmierung und Exekution der Bewegung gibt, ähnlich wie es von der Bewegungsvorstellung vermutet wurde.

Die afferenten Zuflüsse zum SMA stammen nach ECCLES (1982), LEMON u.a. (1985) und EVARTS (1981) vornehmlich aus dem somatosensorischen Bereich, speziell von SI (von Areal 1 und 2 und - auf dem Weg über Areal 2 - von Areal 3b), sowie aus SII und SIII. Daraus geht hervor, daß das SMA auch als tertiäres oder quartäres somatosensorische Feld angesehen werden kann. Es steht somit am Ende des aufsteigenden somatosensorischen Impulsstromes sowie am Beginn der absteigenden efferenten, motorischen Kaskade. Hier zeigt sich eine zweite und dritte Übereinstimmung mit den vorwiegend somästhetischen Inhalten der Bewegungsvorstellung und deren Stellung als Mittler zwischen perzeptiven und motorischen Prozessen.

Eine letzte Identität ergibt sich schließlich aus den Beobachtungen ROLANDs u.a. (1980), die zeigten, daß allein das SMA aktiv ist, wenn eine Vp. die Aufgabe hat, sich die Ausführung einer Bewegung lediglich vorzustellen. Dieser Befund scheint die beste Stützung der Hypothese zu sein, in der Funktion des SMA das neuronale Korrelat zur Bewegungsvorstellung zu sehen. Dies wird indirekt auch durch den Bericht ECCLES' (1985) gestützt, das SMA sei vor der Ausführung automatisierter Bewegungen nicht aktiv, vor Bewegungen also, die nicht durch die Bildung eines mentalen Probelaufes vorbereitet zu werden brauchen. Die Konsequenzen aus dieser Betrachtung für das motorische Lernen bzw. für das Technik-Training sind zu diskutieren.

Literatur

- ALLEN, G.I./TSUKAHARA, N.: Cerebrocerebellar communication systems. In: *Physiol. Rev.* 54 (1974), 957-1006.
- DEECKE, L.: Evidence from finger and toe movement-related potentials for SMA activation prior to human volitional acts. In: *Exp. Brain Res.* 58 (1985), A11 - A12.
- DORSCH, F.: *Psychologisches Wörterbuch*. Hamburg 1970⁸.
- DREVER, J./FRÖHLICH, W.D.: *Wörterbuch zur Psychologie*. München 1971⁵.
- ECCLES, J.C.: The liaison brain for voluntary movement: The supplementary motor area. In: *Acta biol. Acad. Sci. hung.* 33 (1982), 157-172.
- ECCLES, J.C.: The SMA hypothesis: Interaction between mental events and neural events: the free-will problem. In: *Exp. Brain Res.* 58 (1985), A16-A17.
- EVARTS, E.V.: Role of motor cortex in voluntary movements in primates. In: V.B. BROOKS (Hrsg.): *Handbook of physiology Section I. The nervous system. Vol 111/2*. Bethesda 1981, 1083-1119.
- GREENWALD, A.G.: Sensory feedback mechanisms in performance control. In: *Psychological review*. 77 (1970) 2, 73-99.
- KORNHUBER, H.H./DEECKE, L.: Hirnpotentialänderungen beim Menschen vor und nach Willkürbewegungen, dargestellt mit Magnetbandspeicherung und Rückwärtsanalyse. *Pflügers Arch. ges. physiol.* 284 (1965), 1 -17.
- LEMON, R.N./GODSCHALK, M./KUYERS, H.G.J.M.: Area 6 and the planning and execution of arm movements: anatomical and physiological evidence. In: *Exp. Brain Res.* 58 (1985), A2-A3.
- ROLAND, P.E./LARSEN, B./LASSEN, N.A./SKINHOJ, E.: Supplementary motor area and other cortical areas in organisation of voluntary movements in man. In: *Journal of neurophysiology*. 43 (1980), 1: 118-136.
- SHIBASAKI, H./BARRETT, G./HALLIDAY, E./HALLIDAY, A.M.: Components of the movement-related cortical potentials and their scalp topography. In: *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 49 (1980), 213-226.

VOLPERT, W.: Sensomotorisches Lernen. Frankfurt 1971.

WIEMANN, K.: Internes Training, ideomotorische Phänomene und neuromuskuläre Koordination. Diss. Frankfurt 1975.

WISE, S.P.: The primate premotor cortex- past, present, and preparatory. In: Ann. Rev. Neuroscience (1985),8: 1-19.