

PETRA JANSEN-OSMANN

*Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Institut für Experimentelle Psychologie*

## **Die Bedeutung der Neurowissenschaft für die Sportwissenschaft**

### **Brauchen wir die Neurowissenschaft für die Sportwissenschaft?**

In den unterschiedlichsten Wissenschaftszweigen, die sich mit der Natur des Menschen beschäftigen, findet sich in den letzten Jahren eine permanent wachsende Bedeutung der Neurowissenschaften. Es scheint kaum ein Wissenschaftsgebiet zu geben, welches sich nicht mit der Vorsilbe „Neuro“ verbinden lässt! Neurobiologie, Neuroanatomie, Neuropsychologie sind längst Alltagsbegriffe geworden, aber auch weniger naturwissenschaftlichen Richtungen ist diese Anlehnung nicht fremd, wie die Begriffe der Neuropädagogik, Neuroethik, Neuroökonomie und Neurotheologie verdeutlichen. Zwangsläufig stellt sich hier der an der Grundlagenforschung orientierten Sportwissenschaft die Frage, welche Bedeutung die Neurowissenschaften für die Sportwissenschaften haben. Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, beispielhaft wichtige Erkenntnisse und Methoden aus den Neurowissenschaften zusammenzufassen und ihre Bedeutung für die Sportwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung möglicher Anwendungsperspektiven zu diskutieren.

### **Eine kurze Einführung in die Neurowissenschaften**

The United States National Library of Medicine bezeichnet die Neurowissenschaften als „the study of the physiological, cellular, molecular and genetic processes underlying the function of the brain and nervous system“ (<http://www.nlm.nih.gov/tsd/acquisitions/cdm/subjects67.html>). Die Neurowissenschaften bedienen sich unterschiedlichster Methoden, wobei zwischen invasiven und nicht-invasiven Methoden unterschieden werden muss (vgl. im Folgenden PINEL, 2007). Invasive Methoden, wie die stereotaktische Chirurgie, Läsionsmethoden, elektrische Stimulation und invasive Ableitungsmethoden, greifen direkt in das Gehirn ein und sind aus diesem Grunde für sportwissenschaftliche Forschungsfragen am Menschen nicht anwendbar. Zu den bedeutsamsten nicht-invasiven Methoden gehören die Elektroenzephalografie (das sog. EEG) und die bildgebenden Verfahren. Zu den Verfahren, die sich eher auf die Struktur des Nervensystems beziehen, gehören die Computer-Tomografie (CT) und die Magnet-Resonanz-Tomografie (MRT), zu den funktionellen Verfahren zählen das EEG, das Opticalimaging, die Positronen-Emissions-Tomografie (PET) und die funktionelle Magnet-Resonanz-

Tomografie (fMRT). Im Folgenden werden die Verfahren MRT, fMRT und PET (BAILEY, TOWNSEND, VALK & MAISEY, 2005; JÄNCKE, 2005; siehe auch SIEDENTOPF, 2007) erläutert, die immer mehr für die Sportwissenschaften an Bedeutung gewinnen:

Bei der Anwendung der Magnet-Resonanz-Tomografie wird die Strahlungsemission durch angeregte Wasserstoffkerne im Gewebe ausgenutzt. Aufgrund der Eigendrehung der Protonen in den Wasserstoffatomen entwickelt sich ein magnetisches Moment. Durch Spulen wird ein externes Magnetfeld angelegt, wodurch eine stabile Ausrichtung der Protonen erreicht wird. Sendet man nun in einem bestimmten Winkel ein Radiofrequenzsignal, werden die Protonen in Schwingung versetzt. Beim Abschalten des Radiofrequenzimpulses gehen die Protonen in ihre Ausgangsstellung zurück und die Energie, die sie dabei abgeben, wird als MR-Signal in Empfangsspulen gemessen. Durch die ausgefeilte Anordnung dieser Empfangsspulen kann man daraufhin in einem 3-dimensionalen Koordinatensystem genau messen, wo und wann welche Energie abgegeben wird. Diese Daten benutzt der Computer zur Bildinformation. Im Gegensatz zur Magnet-Resonanz-Tomografie basiert die funktionelle Magnet-Resonanz-Tomografie auf der Messung der Sauerstoffversorgung. Bei der Stimulation von Kortexarealen durch kognitive Aufgaben kommt es zu einer Steigerung des kortikalen Stoffwechsels. Das aktivierte Areal reagiert mit einem erhöhten zerebralen Blutfluss, wobei mehr Sauerstoff antransportiert wird, als durch die neuronale Aktivität verbraucht wird. Dadurch steigt der Sauerstoffgehalt im Blut. Die magnetischen Eisenatome des Hämoglobins werden durch den Sauerstoff oxygeniert und dadurch diamagnetisch. Damit unterscheidet sich das sauerstoffreiche Hämoglobin von dem sauerstoffarmen Hämoglobin, dem paramagnetischen Desoxyhämoglobin, auch in seinen magnetischen Eigenschaften. Aufgrund der Abnahme des paramagnetischen Desoxyhämoglobins verringern sich die in der Umgebung auftretenden Magnetfeldinhomogenitäten. Dieser Effekt wird in der Fachliteratur als BOLD-Effekt (Blood Oxygen Level Dependent Effect) bezeichnet. Untersucht man dann Probanden in einem starken und homogenen Magnetfeld in einem Kernspintomografen, kann man die unterschiedlichen Einflüsse der Sauerstoffanreicherung im Hämoglobin als regional und temporal spezifischen Signalanstieg, der wiederum von der Stärke des Grundmagnetfeldes abhängig ist, messen. Zu beachten ist, dass die Sauerstoffversorgung mit einer Latenz von 1-2 sec einsetzt, während der Metabolismus sofort ansteigt. Dies führt zunächst zu einem Dip in der Signalkurve. Zudem kann nicht nur die Aktivierung, sondern auch die Hemmung neuronaler Prozesse einen BOLD-Effekt hervorrufen.

Bei PET wird den Versuchspersonen oder Patienten eine radioaktiv markierte Substanz (tracer) venös injiziert. Bei dieser radioaktiven Substanz handelt es sich um den Ersatz einer natürlich im Körper vorkommenden Substanz wie z. B. Stickstoff durch die radioaktiven Isotope. Diese Radionuklide, die durch den Beschuss stabiler Nuklide mit Protonen entstehen, besitzen eine kurze Halbwertszeit und zerfallen durch Positronen-Emission. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit müssen die Produktion und der Einbau der Radionuklide in Moleküle am Anwendungsort durchgeführt werden. Der tracer verteilt sich genau so wie die entsprechende nicht radioaktive Substanz im Körper und zerfällt am Wirkungsort. Bei diesem Zerfall werden Positronen ausgesendet. Ein Positron vereinigt sich nach kurzer

Zeit mit einem Elektron, beide Teilchen vernichten sich bei diesem Vorgang (sog. Positronen-Annihilation) und senden zwei Gammastrahlen in entgegengesetzte Richtung. Diese Strahlung tritt nun gleichzeitig an zwei Stellen des Detektorringes des PET-Scanners auf. Dadurch wird ersichtlich, dass auf der Verbindungslinie der Detektoren eine Annihilation stattgefunden hat. Durch die ringförmige und zylindrische Anordnung der Detektoren kann die Verteilung der Ereignisse in drei Dimensionen beobachtet werden. Mittels Computerprogrammen wird dann aus den rekonstruierten Ereignissen eine räumliche Darstellung der Aktivitätsverteilung im Körper ersichtlich.

## Die neurowissenschaftlichen Grundlagen komplexer Bewegungen

Mittels der Neurowissenschaften ist es uns nun möglich, die neurophysiologischen Grundlagen der Steuerung komplexer Bewegungen zu beschreiben (vgl. CARLSON, 2004; PINEL, 2007). Die drei wichtigsten motorischen Systeme sind die Großhirnrinde mit den motorischen Feldern, der Hirnstamm und das Rückenmark, sie sind hierarchisch organisiert (vgl. Abb. 1).

Alle drei Instanzen der motorischen Systeme erhalten sensorische Eingänge und stehen zudem unter dem Einfluss der Basalganglien, des Cerebellum und des Thalamus. Hier beschränken wir uns auf die Darstellung der Beteiligung der kortikalen und subkortikalen Strukturen bei der Handlungsausführung. Wenn wir eine Willkürbewegung ausführen wollen, z. B. nach einer Tasse greifen, brauchen wir zumindest zwei wichtige Informationen: Wir müssen wissen, wo unser Arm sich befindet, und wo die Tasse steht. Diese Informationen stammen aus den verschiedenen sensorischen Kortexarealen und werden an den posterioren parietalen Assoziationscortex weitergegeben, der die verschiedenartigen sensorischen Informationen integriert (vgl. Abb. 2 a). Störungen im posterioren parietalen Kor-

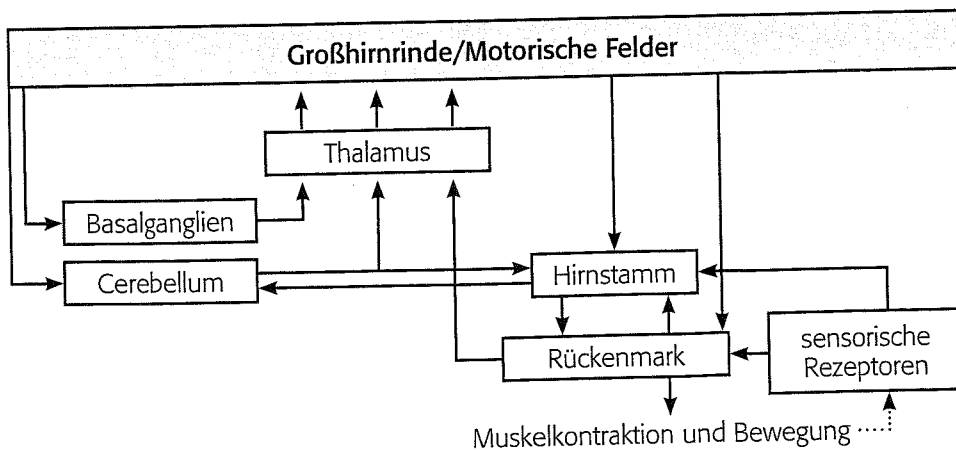


Abb. 1: Darstellung des hierarchischen und parallelen Aufbaus der wichtigsten motorischen Systeme. In Anlehnung an KANDEL, SCHWARTZ & JESSEL (1995, S. 503).

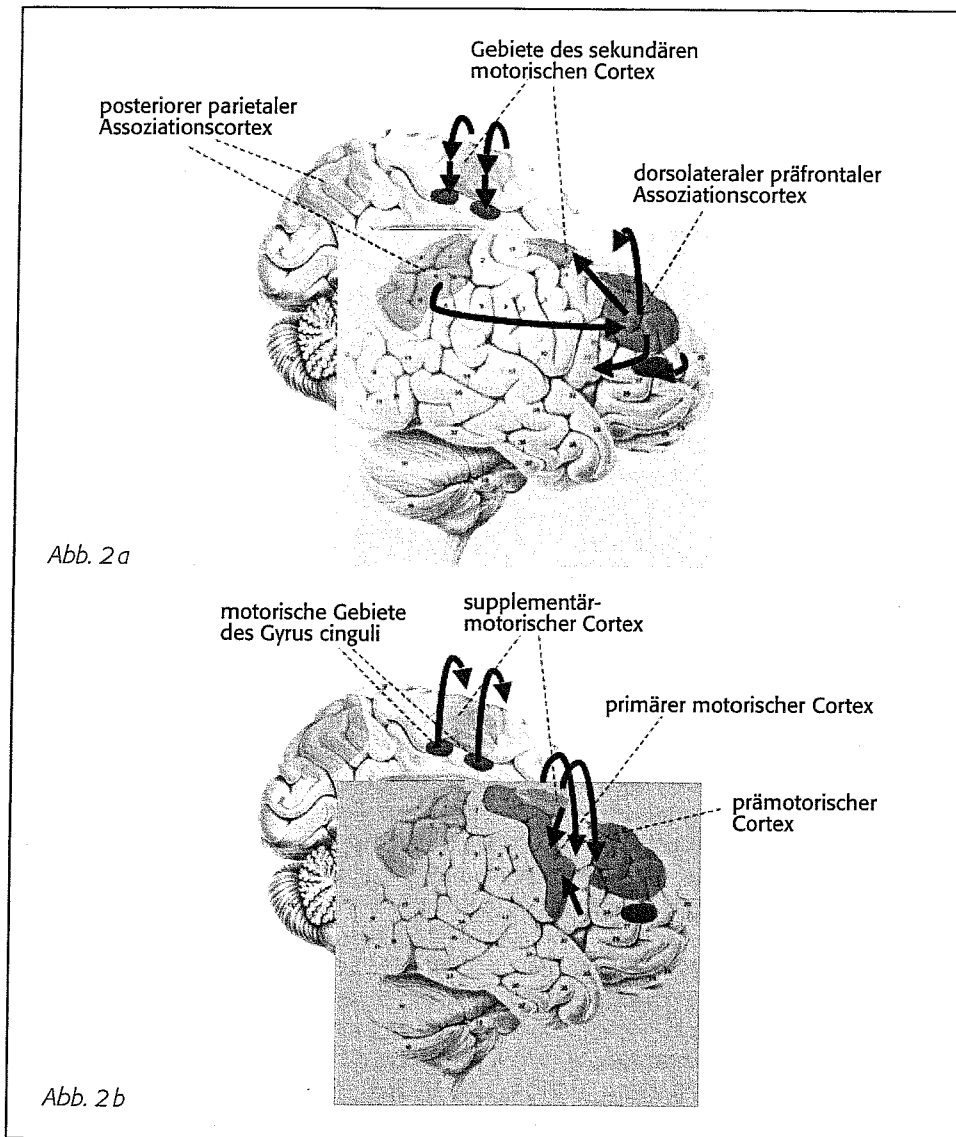


Abb. 2: Darstellung der Verarbeitung der sensorischen Information im posterioren parietalen Assoziationscortex (2a) und Darstellung der wichtigsten Kortexareale (2b). Bei der Ausführung einer motorischen Handlung benötigen wir die Information über den Ausgangs- und den Zielpunkt der Gliedmaßen. Diese Information stammt aus den verschiedenen sensorischen Kortexarealen und wird an den posterioren parietalen Assoziationscortex weitergegeben, der die verschiedenartigen sensorischen Informationen integriert. Von dort projizieren die meisten Verbindungen in den dorsolateralen präfrontalen Assoziationscortex, der wiederum auf die Gebiete des sekundären und primären motorischen Cortex sowie das frontale Augenfeld projiziert (in Anlehnung an PINEL, 2007). Die Darstellung des Gehirns ist entnommen aus NIEUWENHUY, VOOGD & VAN HUIJZEN (1991, S. 12, 17).

tex können dann zur Apraxie, der Unfähigkeit, willentliche Bewegungen auszuführen, und zum kontralateralen Neglect führen, bei dem ein Patient nicht mehr auf visuelle, auditive und somatosensorische Reize der zur Gehirnschädigung kontralateralen Seite des Körpers reagiert.

Die meisten Verbindungen aus dem posterioren parietalen Assoziationscortex projizieren in den dorsolateralen präfrontalen Assoziationscortex, der auf die Gebiete des sekundären und primären motorischen Kortex sowie das frontale Augengfeld projiziert (siehe Abb. 2b). Der sekundäre motorische Kortex besteht aus vier Teilen, dem supplementär motorischen Areal, dem prämotorischen Kortex und den beiden motorischen Gebieten des Gyrus cinguli. Zu den beiden wichtigen Strukturen für die Bewegungssteuerung gehören das Kleinhirn und die Basalganglien. Das Kleinhirn ist für die Koordination, die Feinabstimmung, unbewusste Planung und das Erlernen von Bewegungsabläufen wichtig. Die Basalganglien bestehen aus einer Ansammlung verschiedenartiger Strukturen und sind eingebunden in eine von der Großhirnrinde ausgehende Regelschleife, die über den Thalamus wieder zum Großhirn verläuft.

## **Die neurowissenschaftlichen Grundlagen komplexer sportiver Bewegungen**

Die Neurowissenschaften haben zu einem tief greifenden Verständnis der neuronalen Kontrolle bei komplexen alltäglichen Bewegungen beigetragen. Obwohl es bereits Studien gibt, die die Gehirnprozesse bei dynamischer aerober Arbeit untersuchen (vgl. HOLLMANN, STRÜDER & TAGARAKIS, 2005) oder den Einfluss von Bewegung auf spezifische kognitive Funktionen und ihre neuronale Struktur untersuchen (z. B. COLCOMBE et al., 2004), gibt es nur wenige Studien mit bildgebenden Verfahren, die die Gehirnaktivität bei sportiven Bewegungen untersuchen. Hierbei handelt es sich um eine Studie zur neuronalen Plastizität nach einem Jongliertraining und um Studien zur Bedeutung a) verschiedener neuronaler Komponenten beim Tanz, b) des Betrachtens und c) der Vorstellung tänzerischer Bewegungen.

DRAGANSKI, GASER, BUSCH, SCHUIERER, BOGDHORN und MAY (2004) untersuchten bei 24 Versuchspersonen im Durchschnittsalter von 22 Jahren (21 Frauen und drei Männer) die neuronale Plastizität nach einem Jongliertraining. Die eine Hälfte der Probanden sollte so lange jonglieren üben, bis sie 60 Sekunden mit drei Bällen jonglieren konnten, die andere Hälfte erhielt in demselben Zeitraum kein Training. Alle Versuchspersonen wurden drei Bildgebungsmessungen (MRT) unterzogen, und zwar zu Beginn der Studie, direkt nachdem das Lernen abgeschlossen war und drei Monate später, wobei in diesen drei Monaten kein Jongliertraining erfolgen sollte. Die Ergebnisse wurden mit einem bestimmten Analyseverfahren, der voxel-basierten Morphometrie, welche erlaubt, subtilste zerebrale Umbauvorgänge im Vergleich darzustellen, ausgewertet. Sie zeigten für die Jongliergruppe vom ersten zum zweiten Scan eine signifikante Zunahme der grauen Masse im mittleren temporalen Kortex und im linken posterioren intraparietalen Sulcus, wobei diese beim dritten Scan wieder leicht abgenommen hatte. Damit konnte zum ersten Mal gezeigt werden, dass das Erlernen einer komplexen Bewegung zu einer neuronalen Plastizitätsveränderung im erwachsenen Gehirn führt.

Nicht mit der neuronalen Plastizität, sondern mit der verschiedenartigen neuronalen Aktiviertheit haben sich BROWN, MARTINEZ und PARSONS (2006) beschäftigt. Zunächst ließen sie zehn professionelle Tangotänzer, fünf Frauen und fünf Männer (Durchschnittsalter 33 Jahre), einfache Tanzschritte nach argentinischer Tanzmusik lernen. Nach der Lernphase legten die Tänzer sich in einen PET-Scanner, dabei befand sich unter ihren Füßen eine große Metallplatte. Jeder der Tänzer wurde nun so liegend aufgefordert, sechs verschiedene Versuchsbedingungen durchzuführen: In der ersten Bedingung, der metrischen Bedingung, mussten die Tänzer die gelernten Schritte zu argentinischer Tangomusik ausführen. In der nicht-metrischen Bedingung (Bedingung 2) mussten die Bewegungen zu einem unvorhersehbaren Rhythmus ausgeführt werden. In der dritten Bedingung, der motorischen Bedingung, sollten die Tänzer die gelernten Schritte ohne Musik ausführen. In der Kontraktionsbedingung (Bedingung 4) sollten sie die Muskeln so anspannen, als ob sie die Schritte tatsächlich gehen würden, ohne sie letztendlich auszuführen. In der Zuhör-Bedingung (Bedingung 5) schließlich sollten sie nur einer Musik lauschen, während sie in der Stille-Bedingung (Bedingung 6) nur ruhig liegen blieben. Die neurowissenschaftlichen Ergebnisse zeigten eine unterschiedliche neuronale Aktivität in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung: Vergleicht man z. B. die Aktivität der metrischen mit der motorischen Bedingung (ohne Musik) zeigte sich eine erhöhte Aktivität im anterioren cerebellaren Vermis (siehe Abb. 3 a). Diese Kleinhirnstruktur ist demnach bei Bewegungen zur Musik bzw. zu Reizen, die in einem bestimmten Takt gegeben werden, beteiligt. Bei Bewegungen zu rhythmischer Musik zeigte sich eine Aktivierung im Putamen, bei Bewegungen zu nicht-metrischen Rhythmen hingegen eine erhöhte Aktivität im Thalamus (vgl. Abb. 3 b). Vergleicht man die Aktivität zwischen den Bewegungsaufgaben und der Stille-Bedingung, dann zeigte sich eine erhöhte Aktivität in den motorischen Kortexarealen (prämotorischer Kortex, supplementär motorisches Areal) (Abb. 3 c). Ein Vergleich der metrischen und der Kontraktionsbedingung zeigte eine erhöhte Aktivität im oberen Parietallappen (vgl. Abb. 3 d). Mit dieser Arbeit wurden zum ersten Mal die neuronalen Systeme und Subsysteme untersucht, die beim Tanz aktiviert sind.

An die Arbeit von BROWN et al. (2006) anschließend stellt sich nun die Frage, ob allein das *Ausführen* tänzerischer Bewegungen zu einer verschiedenartigen neuronalen Aktivierung führt oder ob bereits das *Betrachten* von tänzerischen Bewegungen unterschiedliche neuronale Aktivierung induziert. Die Existenz sog. Spiegelneurone lässt diese Vermutung wahrscheinlich erscheinen. Spiegelneurone sind Nervenzellen, die im Gehirn die gleiche Aktivität bei der Betrachtung wie bei der aktiven Ausführung der Aufgabe hervorrufen. Der Begriff geht unter anderem auf die Forschung von RIZZOLATI und seinen Mitarbeitern (1996) zurück, die bei Untersuchungen mit Affen feststellten, dass Neurone im Feld F5c immer dann reagierten, wenn die Affen eine Hand-Objekt-Interaktion durchführten oder eine solche bei anatomisch ähnlichen Individuen beobachteten.

CALVO-MERINO, GLASER, GREZES, PASSINGHAM und HAGGARD (2005) untersuchten in einer Studie die Wirkung des Betrachtens tänzerischer Bewegungen. An ihrer Studie nahmen 29 männliche Tänzer, zehn professionelle Ballett-Tänzer, zehn professionelle Capoeira-Tänzer und neun Nicht-Tänzer im Alter zwischen 18 und 28 Jahren teil. Alle Versuchspersonen sahen verschiedene Sequenzen von Ballett-



einem Zeitraum von fünf Wochen lernen, darüber hinaus gab es 18 weitere Modern-Dance Videoclips, die nicht gelernt wurden. Am Ende jeder Woche wurde die Gehirnaktivität mittels funktioneller Magnet-Resonanz-Tomografie jeweils bei der Aufgabe gemessen, gelernte und ungelernete Sequenzen zu beobachten, sich deren Ausführung gleichzeitig vorzustellen und zu beurteilen, wie gut sie diese Tanzsequenzen konnten. Die Ergebnisse zeigten eine erhöhte Aktivierung in verschiedenen Gebieten bei der Simulation gelernter im Vergleich zu ungelerten Bewegungen (z. B. prämotorischer Kortex, frontales Augenfeld, supplementär motorischer Kortex, Gyrus supramarginalis, cingulärer motorischer Kortex). Darüber hinaus zeigte sich eine erhöhte Aktivierung bei der Simulation gelernter Tanzbewegungen im Vergleich zu ungelerten Bewegungen, selbst wenn die Tänzer meinten, ungelernete und gelernte Bewegungen gleich gut ausführen zu können. Die Studie hat demnach gezeigt, dass die Vorstellung und Betrachtung einer gelernten tänzerischen Bewegung zu einer erhöhten neuronalen Aktivierung im Vergleich zu einer nicht gelernten Bewegung führen. ZENTGRAF, STARK, REISER, KÜNZELL, SCHIENLE, KIRSCH et al. (2005) konnten darüber hinaus zeigen, dass bei dem Betrachten gymnastischer Bewegungen die Aktivierung im prä-supplementär motorischen Areal durch unterschiedliche Instruktionen variiert wird.

Insgesamt scheint es damit evident zu sein, dass allein das Anschauen und die Vorstellung von gelernten Bewegungen zu einer vermehrten Aktivierung bestimmter Gehirnstrukturen führen. Die Neurowissenschaften bieten die Möglichkeiten, die Aktivierung genau zu betrachten und sie im Zusammenhang zu den ausgeführten Bewegungen zu setzen. Es stellt sich die Frage, wohin der weitere Einfluss der Neurowissenschaft auf die Sportwissenschaft führen kann.

## **Wohin führt der Einfluss der Neurowissenschaft auf die Sportwissenschaft?**

Selbstverständlich muss zunächst erwähnt werden, dass der Einfluss der Neurowissenschaft auf die Sportwissenschaft längst vorhanden ist, denn das Wissen um die neuronale Steuerung einfacher und komplexer Bewegungen ist bei dem Wiederaufbau sensomotorischer Funktionen unabdingbar, z. B. bei Patienten nach einem Schlaganfall. Hier arbeiten Neurowissenschaftler und Sportwissenschaftler zusammen. Die Neurowissenschaftler geben Auskunft über die ausgefallenen Gehirnregionen, die Sportwissenschaftler sind in der Lage, die geeignete motorische Rehabilitation auszuwählen. In den letzten Jahren sind mehr als 100 kontrollierte experimentelle Studien durchgeführt worden, die die Wirksamkeit eines Bewegungstrainings untersuchten. Dabei sind die Intensität des Trainings, die Häufigkeit der Übungswiederholungen und die Umsetzung der Trainingsleistungen wichtig. LIU, CHAN, LEE und HUI-CHAN (2004) konnten darüber hinaus die Effektivität eines mentalen Trainings bei Schlaganfallpatienten nachweisen. Das mentale Training verbesserte sowohl die Ausführung als auch die Planung zuvor trainierter wie auch neuer Aufgaben.

Der nachgewiesene Einfluss des mentalen Trainings auf Schlaganfallpatienten ist auch für das Training von Sportlern interessant. Es stellt sich die Frage, ob Sport-



ler in durch Krankheit bedingten Ausfallzeiten ihr motorisches Training (zumindest teilweise) durch ein mentales Training ersetzen können. In einer älteren Meta-Studie von FELTZ und LANDERS (1983) konnte in einer Analyse von 60 Studien gezeigt werden, dass die durchschnittliche Effektgröße eines mentalen Trainings bei  $d = .048$  liegt, was nach COHEN (1988) einer mittleren Effektstärke entspricht. Dabei ist der Effekt eines mentalen Trainings noch größer, wenn es sich um gut bekannte Aufgaben handelt und um solche, die eine kognitive Komponente enthalten. Die neurowissenschaftliche Forschung hat die erhöhte Aktivierung bestimmter Areale beim Betrachten von Bewegungen nachgewiesen, dies mag als ein weiterer Hinweis auf die Effektivität eines mentalen Trainings gelten.

Als letzten Punkt der Bedeutung der Neurowissenschaften für die Sportwissenschaften möchte ich auf mögliche Einflüsse in Bildungsprozessen eingehen. Wohl niemand wird den Zusammenhang zwischen Motorik und Kognition bestreiten; ein Zusammenhang, der auch für die Bedeutung des Schulsports wichtig ist (ROTH & KNOBLOCH, 2006). Konzepte, die diesem Zusammenhang Rechnung tragen, wie z. B. das Konzept der bewegten Schule, sprießen aus dem Boden. Zu diesem Thema gibt es bereits wesentliche empirische Forschung, wie die Meta-Analyse von ETNIER, SALAZAR, LANDERS und PETRUZZELLO (1997) verdeutlicht (siehe auch ETNIER, NOWELL, LANDERS & SIBLEY, 2006). In einer jüngeren Studie konnte VOELCKER-REHAGE (2005) einen Zusammenhang zwischen zentralnervös determinierten motorischen Fähigkeiten und der optischen Differenzierungsleistung im frühen Kindesalter zeigen. Der Einsatz der Neurowissenschaften, insbesondere der Einsatz bildgebender Verfahren, kann hier jedoch vielleicht noch eine ganz andere und neue Möglichkeit des Zugangs bieten. Unter der Annahme, dass motorische und kognitive Prozesse in gemeinsamen Gehirnarealen verarbeitet werden, könnte man davon ausgehen, dass es diesen Zusammenhang wirklich gibt. Ein Beispiel für diesen Zusammenhang könnte jener vermutete Interaktionsmechanismus sein: Die „Jonglierstudie“ (DRAGANSKI et al., 2004) hat gezeigt, dass es zu einer Plastizitätsveränderung im intraparietalen Sulcus kommt. Dies ist jedoch die Hirnstruktur, welche bei kognitiven Aufgaben, z. B. während der visuell-räumlichen Informationsverarbeitung, aktiv ist: Forscher wiesen eine erhöhte Aktivierung im intraparietalen Sulcus bei Versuchspersonen nach, die eine mentale Rotationsaufgabe lösen mussten (z. B. JORDAN, HEINZE, LUTZ, KANOWSKI & JÄNCKE, 2001). Bei der mentalen Rotation (vgl. SHEPARD & METZLER, 1971) muss man entscheiden, ob zwei gleiche, aber unterschiedlich rotierte Objekte identisch oder gespiegelt sind. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Aktivierung im intraparietalen Sulcus bei Menschen mit einer Dyskalkulie abnimmt (VON ASTER, KUCIAN, SCHWEITER & MARTIN, 2005). Es wäre spannend zu untersuchen, ob ein Jongliertraining die visuelle Vorstellungsfähigkeit und eine Rechenschwäche verbessern könnte - eine bisher nicht empirisch überprüfte Vorhersage.

Daneben bieten die Neurowissenschaften jedoch nicht nur die Möglichkeit, Aussagen über den Zusammenhang zwischen Motorik und Kognition, sondern auch zwischen Motorik und Emotion zu untersuchen, ein Zusammenhang, der oftmals vernachlässigt wird. So konnte in einer Studie von LOBO und WINSLER (2006) die Effektivität eines 8-wöchigen kreativen Tanzprogramms für Kinder im Vorschulalter hinsichtlich der sozialen und emotionalen Entwicklung nachgewiesen werden. Interessant wäre es hier zu untersuchen, ob sich auch im Kortex eine

Aktivierungsveränderung in den für die Emotionen zuständigen Regionen, z. B. im limbischen System, zeigt.

## **Ausblick**

Die bisherige Darstellung hat die Bedeutung der Neurowissenschaften für die Sportwissenschaft gezeigt. Es ist evident, dass Neurowissenschaftler und Sportwissenschaftler bereits zusammenarbeiten, hauptsächlich im Bereich der Rehabilitation. Ohne die Erkenntnisse der Neurowissenschaften kann keine adäquate Therapie ausgewählt werden, und wiederum kann der Erfolg einer Therapie von den Neurowissenschaften kontrolliert werden. Darüber hinaus geben uns die Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften z. B. die Möglichkeit, die Trainingswissenschaften zu bereichern, etwa indem die Wirksamkeit eines mentalen Trainings systematisch untersucht wird. Die Neurowissenschaften werden auch einen Einfluss auf die Förderung von Kindern jeglichen Alters durch Sport und Bewegung nehmen. Beeinflusst z. B. das Konzept der bewegten Schule die Gehirnaktivität der Kinder? Fördert ein Jongliertraining die neuronale Aktivität in den Arealen, die bei der visuellen Vorstellung eine Rolle spielen? Welche Auswirkung hat dies auf Kinder, die an einer Dyskalkulie leiden? Das Zusammenspiel von Motorik oder Sport und Kognition kann mit Hilfe der Neurowissenschaften aus einer ganz anderen Perspektive untersucht werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Einsatz der Neurowissenschaften in den Sportwissenschaften ein großes Potenzial bietet. Bislang existieren nur wenige neurowissenschaftliche bildgebende Arbeiten in den Sportwissenschaften und diese stammen eher aus den Randbereichen, wie Jonglieren oder Tanz. Wir wissen heute innerhalb der Sportwissenschaften gut, dass körperliche Aktivität die kognitiven Gehirnfunktionen beeinflusst (vgl. KUBESCH, 2004). Bei dynamisch aerober Arbeit tritt verstärkt regionale Gehirndurchblutung auf, die zu einer vermehrten Produktion von Nervenwachstumsfaktoren führt (HOLLMANN, STRÜDER & TAGARKIS, 2005). Was wir zu diesem Zeitpunkt weniger wissen, ist z. B. die Frage, welche Gehirnareale bei welcher sportiven Aktivität aktiviert sind. Neben den bereits etablierten neurowissenschaftlichen Methoden und Erkenntnissen bietet uns der Einsatz bildgebender Verfahren damit die Möglichkeit, das Zusammenspiel komplexer sportiver Bewegungen und der Gehirnaktivität differenzierter zu betrachten. Während z. B. das Lauftraining insbesondere die Ausdauer schult, wird beim Tischtennis besonders die Auge-Hand Koordination trainiert, womit eine Aktivierung in unterschiedlichen Gehirnarealen zu erwarten ist und evtl. auch eine unterschiedliche Plastizität. Geht man davon aus, dass auch die verschiedenen kognitiven Fähigkeiten im Zusammenhang mit einer Aktivierung in unterschiedlichen Arealen stehen, lässt sich somit ein spezifisches Bewegungstraining zur Verbesserung einer spezifischen kognitiven Fähigkeit erschließen. Auch wenn die hohen Kosten neurowissenschaftlicher Erkenntnisse bedacht werden müssen, kann diese Herangehensweise für die Sportwissenschaften bereichernd sein, erlaubt sie Aussagen über den Zusammenhang einzelner Bewegungskomponenten spezifischer kognitiver Aufgaben und der Aktivierung von Gehirnstrukturen.

## Literatur

- BAILEY, D., TOWNSEND, D. W., VALK, P. E. & MAISEY, M. N. (2005). *Positron Emission Tomography*. London: Springer-Verlag.
- BROWN, S., MARTINEZ, M. J. & PARSONS, L. M. (2006). The neural basis of human dance. *Cerebral Cortex*, *16*, 1157–1167.
- CALVO-MERINO, B., GLASER, D. E., GREZES, J., PASSINGHAM, R. E. & HAGGARD, P. (2005). Action observation and acquired motor skills. An fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, *15*, 1243–1249.
- CARLSON, N. R. (2004). *Physiologische Psychologie* (8., aktualisierte Aufl.). München: Pearson Studium.
- COHEN, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- COLCOMBE, S. J., KRAMER, A. F., ERICKSON, K. I., SCALF, P., MCAULEY, E., COHEN, N. J., WEBB, A., JEROME, G. J., MARQUEZ, D. X. & ELAVSKY, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Science (USA)*, *101*, 3316–3321.
- CROSS, E., HAMILTON, A. F. & GRAFTON, S. T. (2006). Building a motor simulation. *Neuroimage*, *15*, 1243–1249.
- DRAGANSKI, B., GASER, C. H., BUSCH, V., SCHUIERER, G., BOGDAHN, U. & MAY, A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, *427*, 311–312.
- ETNIER, J. L., NOWELL, P. M., LANDERS, D. M. & SIBLEY, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, *52*, 119–130.
- ETNIER, J., SALAZAR, W., LANDERS, D. & PETRUZZELLO, S. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: A meta-analysis. *Journal of Exercise & Sport Psychology*, *19*, 249–277.
- FELTZ, D. L. & LANDERS, D. M. (1983). The effects of mental practice on motor skill learning and performance: A meta-analysis. *Journal of Exercise Psychology*, *5*, 25–27.
- HOLLMANN, W., STRÜDER, H. K. & TAGARAKIS, C. V. M. (2005). Gehirn und körperliche Aktivität. *Sportwissenschaft*, 3–14.
- JÄNCKE, L. (2005). *Methoden der Bildgebung in der Psychologie und den kognitiven Neurowissenschaften*. Stuttgart: Kohlhammer.
- JORDAN, K., HEINZE, H. J., LUTZ, K., KANOWSKI, M. & JÄNCKE, L. (2001). Cortical activations during the mental rotation of different visual objects. *Neuroimage*, *13*, 143–152.
- KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H. & JESSEL, T. M. (1995). *Neurowissenschaften*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- KUBESCH, S. (2004). Das bewegte Gehirn. An der Schnittstelle von Sport- und Neurowissenschaft. *Sportwissenschaft*, 135–144.
- LIU, K. P., CHAN, C. C., LEE, T. M. & HUI-CHAN, C. W. (2004). Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: a randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *85*, 1403–1408.
- LOBO, Y. B. & WINSLER, A. (2006). The effects of a creative dance and movement program on the social competence of head start preschoolers. *Social Development*, *15*, 501–519.
- NIEUWENHUYNS, R., VOOGD, J. & VAN HUIJZEN, C. (1991). *Das Zentralnervensystem des Menschen*. Berlin: Springer-Verlag.
- PINEL, J. P. J. (2007). *Biopsychologie* (6., aktualisierte Aufl.). München: Pearson Studium.
- RIZZOLATTI, G., FADIGA, L., GALLESE, V. & FOGASSI, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, *3*, 131–141.

- ROTH, K. & KNOBLOCH, I. (2006). *Argumentationshilfen pro Schulsport: Baustein: körperlich-sportliche Aktivität und kognitives Lernen*. Dannewerk: DSLV.
- SHEPARD, R. N. & METZLER, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- SIEDENTOPF, C. (2007). fMRI-EASY. URL: [www.fmri-easy.de]. [18. 8. 07].
- VON ASTER, M., KUCIAN, K., SCHWEITER, M. & MARTIN, E. (2005). Dyscalculia in children. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 153, 614-622.
- VOELCKER-REHAGE, C. (2005). Der Zusammenhang zwischen motorischer und kognitiver Entwicklung im frühen Kindesalter - Ein Teilergebnis der MODALIS-Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56, 358-363.
- ZENTGRAF, K., STARK, R., REISER, M., KÜNZEL, S., SCHIENLE, A., KIRSCH, P., WALTER, B., VAITI, D. & MUNZERT, J. (2005). Differentiell activation of pre-SMA and SMA proper during action observation: Effects of instructions. *Neuroimage*, 26, 662-672.