

Aus der Klinik für Neurologie  
(Direktorin: Frau Prof. Dr. med. Daniela Berg)  
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel  
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**FRÜHE TRANSFERLEISTUNGEN IM  
MOTORISCHEN SYSTEM:  
EINE STUDIE ZUR UNTERSUCHUNG  
DES DIALOGS ZWISCHEN BEIDEN HÄNDEN**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**vorgelegt von  
Susanne Luise Odendahl  
aus Georgsmarienhütte**

Kiel (2016)

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Karsten Witt, Klinik für Neurologie

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Robert Göder, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie

Tag der mündlichen Prüfung: 10.10.2017

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 26.06.2017

gez. Prof. Dr. Johann Roider (Vorsitzender des Ausschusses für Promotion)

**Gewidmet meinem Vater**



## Prolog

„die linke Hand nicht weiß, was die rechte tut“

Matthäus Kap 6 Vers 3f

Wenn in diesem Schlagwort - niedergeschrieben vor über 2000 Jahren – bewusst arbiträr formuliert wird, dass (in einer spezifischen altruistischen Situation) die linke Hand nicht wüsste was die Rechte tut, dann hat der Autor Kenntnis über das sonst gut eingespielte Team beider Hände. Die linke Hand hat regelhaft Kenntnis von der rechten Hand, weiß wie sie funktioniert, was sie tut und vermutlich auch was sie vor hat bzw. was sie gemeinsam zu erledigen haben. Neurobiologisch macht es einen Sinn für eine Hand Bewegungs- und Handlungsabläufe von der kontralateralen Hand zu kennen und diese nicht selber lernen zu müssen. Das Gehirn ist in zwei Hälften unterteilt, die in ihrem Aussehen sehr ähnlich sind, jedoch unterschiedliche Aufgaben haben. So kontrolliert die linke Hirnhälfte die rechte Körperseite und die rechte Hirnhälfte die linke Körperhälfte. Aber wie wird die Motorik organisiert, wenn Lernzentren im Kontext der Hemisphärendominanz agieren? Jenseits der einfachen exekutiven Funktion der Hemisphären haben beide besondere Spezialisierungen, die gerade an der Transferleistung motorischer Fertigkeiten erkannt werden könnten. Diese Arbeit widmet sich diesen Transferleistungen und soll einen kleinen Beitrag zum Verständnis des Dialoges zwischen beiden Händen leisten.



<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>9</b>
1.1 MOTORISCHES LERNEN UND GEDÄCHTNISYSTEME	9
1.2 KONSOLIDIERUNGSPROZESSE	10
1.3 NEURONALE GRUNDLAGEN UND MODELLE	10
1.3.1 LERNPHASEN	11
1.4 THEORETISCHER HINTERGRUND INTERMURALER TRANSFEREFFEKTE	12
1.5 ÜBERSICHT ÜBER DIE TRANSFEREFFEKTE VORHERGEHENDER STUDIEN	13
1.6 HEMISPHÄRENDOMINANZ UND INTERHEMISPHÄRISCHE INTERAKTION	14
1.7 GENERALISIERUNG EINER MOTORISCHEN FERTIGKEIT	15
1.8 GESCHLECHTSSPEZIFISCHE UNTERSCHIEDE BEIM MOTORISCHEN LERNEN	17
1.8.1 GESCHLECHTSUNTERSCHIEDE DER ZEREBRALEN ASYMMETRIEN	17
1.8.2 GESCHLECHTSSPEZIFISCHE UNTERSCHIEDE BEIM MOTORISCHEN LERNEN	17
1.9 MOTIVATION UND FRAGESTELLUNG DER STUDIE	19
<b>2 PROBANDEN, METHODEN UND MATERIALIEN</b>	<b>21</b>
2.1 PROBANDENKOLLEKTIV	21
2.2 STUDIENDESIGN	21
2.3 AUFGABENSTELLUNG: SEQUENZIELLER FINGER-TAPPING-TASK	21
2.4 BEURTEILUNG DER AUFMERKSAMKEIT UND SCHLAFQUALITÄT	24
2.4.1 STANFORD SLEEPINESS SCALE	24
2.4.2 PITTSBURGH-SCHLAFQUALITÄTSINDEX (PSQI)	25
2.4.3 EIGENSCHAFTSWÖRTERLISTE	25
2.4.4 BEURTEILUNG DER HÄNDIGKEIT	26
2.5 TEIL II DER STUDIE	27
2.6 STATISTISCHE ANALYSEN	27
<b>3 ERGEBNISSE</b>	<b>29</b>
3.1 PROBANDENKOLLEKTIV	29
3.2 VERGLEICH DER PERFORMANCE BEIM TRAINING	29
3.2.1 PERFORMANCE IN DER TRAININGSPHASE IM VERGLEICH DER EINGESetzten HAND	29
3.2.2 EFFEKT DER ERLERNTEN SEQUENZ	31
3.2.3 EFFEKT DER TAGESZEIT DES TRAININGS	32
3.3 ANALYSE DER TRANSFORMATIONSPHASE IN HINBLICK AUF TRANSFERBEDINGUNG UND -RICHTUNG	32
3.4 ANALYSE DER ABRUFLEISTUNG IN HINBLICK AUF TRANSFORMATIONSBEDINGUNG UND TRANSFERRICHTUNG	38
3.5 ANALYSE DER TRANSFORMATIONS- UND ABRUFPHASE IN DEN TAGESGRUPPEN MIT FREIEM ZEITINTERVALL	41
3.6 TEIL 2 DER STUDIE: DIE PERFORMANCE IM VERGLEICH DER GESCHLECHTER	44
3.7 VERGLEICH DER AKTIVIERTHEIT UND SCHLAFQUALITÄT DER PROBANDEN	46
3.7.1 QUANTIFIZIERUNG DER AKTIVIERTHEIT MITTELS SSS UND EWL	46
3.7.2 BEURTEILUNG DER SCHLAFQUALITÄT	47
<b>4 DISKUSSION</b>	<b>49</b>
4.1 DIREKTE INTERMANUELLE TRANSFEREFFEKTE	50
4.1.1 TRANSFORMATIONSLEISTUNG IN HINBLICK AUF TRANSFERRICHTUNG	50
4.1.2 TRANSFORMATIONSLEISTUNG IN HINBLICK AUF TRANSFERBEDINGUNG (EXTRINSISCH UND INTRINSISCHE TRANSFORMATION)	52
4.1.3 TRANSFEREFFEKTE ÜBER DEN TAG	54

4.1.4 EINFLUSS DER TRANSFORMATION AUF DIE ERNEUTE ABRUFPHASE	54
4.2 LIMITATIONEN DER STUDIE	55
4.2.1 TESTBEDINGUNGEN UND EINSCHLUSSKRITERIEN	55
4.2.2 EINFLUSS DER TAGESZEIT AUF DIE PERFORMANCE IN DER TRAININGSPHASE	56
4.2.3 EINFLUSS DER ZU ABSOLVIERENDEN SEQUENZ	56
4.2.4 TRAININGS- UND TRANSFERLEISTUNG IM VERGLEICH DER EINGESetzten HAND	57
4.2.5 EINFLUSS DER GESCHLECHTSVERTEILUNG IN DEN GRUPPEN	58
4.3 FAZIT UND AUSBLICK	59
<b>5 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>61</b>
<b>6 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>63</b>
<b>7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>64</b>
<b>8 TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>65</b>
<b>9 ANHANG</b>	<b>66</b>
<b>10. ABSTRACT FÜR DEN 84. KONGRESS DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR NEUROLOGIE</b>	<b>80</b>
<b>11 LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>81</b>
<b>12 DANKSAGUNG</b>	<b>85</b>
<b>13 CURRICULUM VITAE</b>	<b>86</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Motorisches Lernen und Gedächtnissysteme

Motorische Abläufe als wichtige Bestandteile des Gedächtnisses sind komplex integrierte, interaktiv aufeinander abgestimmte und durch Rückkopplung modifizierbare Prozesse. Auch in scheinbar simple und automatisierte Bewegungen im alltäglichen Leben sind zahlreiche Hirnstrukturen involviert.

Das Gedächtnis allgemein umfasst die Fähigkeiten Informationen aufzunehmen, zu speichern (Encodierung) und abzurufen. Als Gedächtnissysteme werden das Ultrakurzzeit- (sensorisches Gedächtnis), Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis unterschieden, wobei letzteres unterteilt wird in das explizite/ deklarative und das implizite/ prozedurale Gedächtnis. Das explizite Gedächtnis, bei dem die Informationen überwiegend bewusst aufgenommen und gelernt werden, beinhaltet das semantische Wissen, das die Umwelt oder die eigene Biographie betreffendes Faktenwissen umfasst, sowie das episodische Wissen, bestehend aus früheren Erfahrungen und Ereignissen. Über den Papez-Kreislauf (Hippocampus – Fornix – Corpora mamillaria – Fasciculus mamillothalamicus – Thalamus – Gyrus parahippocampalis – Hippocampus) erfolgt die Verarbeitung neuer Informationen, die Engramme werden in den assoziativen Cortices gespeichert (motorische Engramme überwiegend frontal (Squire and Zola 1996)). Zum impliziten Gedächtnis werden unter anderem erlernte motorische Fertigkeiten (prozedural), Konditionierungsvorgänge (assoziativ), nicht-assoziatives Lernen (z.B. Habituation, kognitives Lernen) und Priming (Bahnung) gezählt. Diese Gedächtnisinhalte gelangen sowohl beim Lernen als auch beim automatisierten Abruf nicht in das Bewusstsein (Squire and Zola 1996).

Der Flexibilität des deklarativen Gedächtnisses, das meist durch kognitive Strategien (Vergleiche, Schlussfolgerungen) abgerufen wird, steht ein relativ starres nicht-deklaratives Gedächtnissystem gegenüber, dessen Leistung eng an die Bedingungen gekoppelt ist, unter denen der Lernvorgang stattfand (Squire and Zola 1996). Die Informationen dieser beiden Gedächtnisformen werden unabhängig voneinander in neuroanatomisch differenten Gehirnarealen verarbeitet und encodiert. Während beim deklarativen Lernen eine erhöhte neuronale Aktivität im temporalen Kortex, Hippocampus und Thalamus zu beobachten ist, werden beim nicht-deklarativen Lernen die motorischen Hirnzentren (M1, SMA, PM), die Basalganglien und das Cerebellum vermehrt aktiviert (Squire 1992; Squire und Zola 1996; Willingham 1998). Die Rückkopplungsmechanismen erfolgen über Verschaltungen des cingulären Kortex, rechten anterioren inferioren parietalen Kortex und des Neocerebellums (DeLong et al. 2009). Entscheidend für die Koordination von äußerer Bedingung und körperbezogenem motorischen Programm ist die Verschaltung vom posterioren parietalen

Kortex und lateralen prämotorischen Kortex. Die Speicherung motorischer Sequenzen wird dem Netzwerk zwischen SMA, M1 und Basalganglien zugeschrieben (Halsband and Lange 2006). Das motorische Lernen wird dem prozeduralen Gedächtnis zugeordnet (Hikosaka, Nakamura et al. 2002), obwohl hier nicht immer eine eindeutige Trennung impliziter und expliziter Vorgänge möglich erscheint. Zwar wird davon ausgegangen, dass motorische Fertigkeiten überwiegend durch immer wiederkehrende, häufig unbewusste Übungsvorgänge verbessert und gefestigt werden, so dass sich die Frage nach einer scheinbaren Verinnerlichung eines Handlungsplans ergibt, anhand dessen die weitere Reaktion modifiziert wird. Jedoch wird auch beobachtet, dass eine vorherige Instruktion, gedankliche Simulation und bewusste Konzentration auf die Aufgabe die Durchführung verbessern und das Lernen beschleunigen kann (Wulf 2009). Allerdings reichen das alleinige explizite Wissen und die genaue Instruktion der bevorstehenden Bewegung oder motorischen Aufgabe ohne die tatsächliche Durchführung nicht aus, um denselben Lerneffekt zu erreichen. Diese Beobachtung lässt darauf schließen, dass motorisches Lernen, sofern es bewusst geschieht, als ein interaktiver Prozess zwischen dem expliziten und impliziten Gedächtnissystem zu verstehen ist.

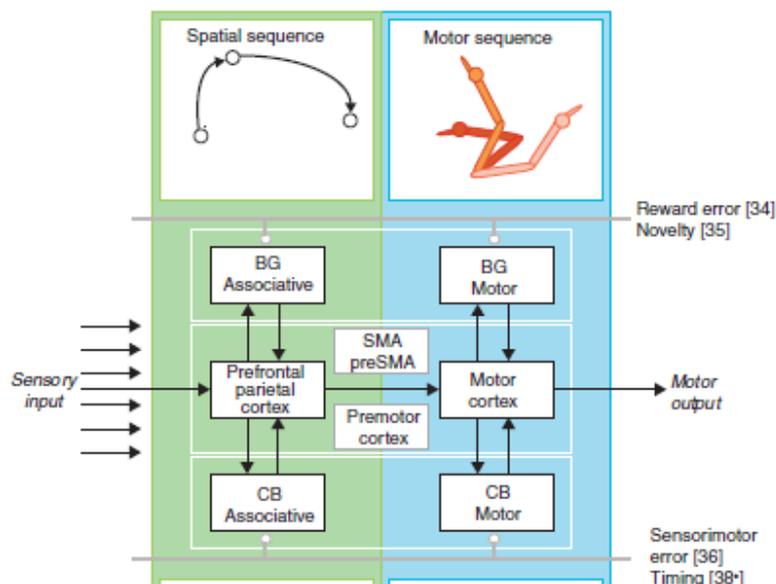
## **1.2 Konsolidierungsprozesse**

Entscheidend für motorische Lernprozesse ist die Gedächtniskonsolidierung, welche die Überführung von Informationen vom Kurz- in das Langzeitgedächtnis und somit die Stabilisierung des Gedächtnisinhaltes, das „Lernen“ im engeren Sinne, bedeutet. Diese Gedächtnisspuren bilden sich nach Hebb (1949) durch perseverierende Aktivität und Veränderungen in Neuronen und Synapsen auf biologischer Ebene. Die motorische Konsolidierung erfordert dabei ein Zeitintervall von mehreren Stunden (Press, Casement et al. 2005; Brashers-Krug, Shadmehr et al. 1996). Erleichtert wird dieser Vorgang durch interne Wiederholung der Information und korrespondierendes Zirkulieren des Gelernten im Gedächtnis. Unterstützend auf diesen Prozess wirkt sich die Assoziation mit bereits vorhandenen Gedächtnisspuren aus. Die Extinktion, das Vergessen, hingegen resultiert mit hoher Wahrscheinlichkeit aus aktiver Überschreibung des Engramms mit neuen Gedächtnisinhalten (Walker, Brakefield et al. 2003).

## **1.3 Neuronale Grundlagen und Modelle**

Über die Interaktionen und die Vernetzungen der an motorischen Abläufen beteiligten Hirnstrukturen bestehen verschiedene Modelle. Seitz gliederte die anatomischen Strukturen, die am Erlernen einer motorischen Sequenz partizipieren, in zwei Klassen: Zum einen in

Strukturen, die die motorischen Areale durch Bereitstellung somatosensorischer und weiterer wichtiger Information in der Frühphase des Lernens unterstützen, zum anderen in motorische Gebiete, die als Teil des cortico-cerebellaren oder cortico-striatalen Schaltkreises ihre Aktivität während des Lernprozesses aufeinander abstimmen (Seitz, Roland et al. 1990). Hikosaka entwarf ein Schema über das motorische sequenzielle Lernen, in dem er zwei parallele kortikale Systeme unterschied, die jeweils die räumlichen oder motorischen Koordinaten einer Bewegung kodieren und unabhängig voneinander optimiert werden können (Hikosaka, Nakahara et al. 1999; Hikosaka, Nakamura et al. 2002) (Abbildung 1).



**Abb. 1:** Hikosakas Modell ist gekennzeichnet durch die Interaktion intrakortikaler serieller Verbindungen (horizontale Pfeile) mit kortiko-basalganglionären (BG) bzw. kortiko-cerebellären (CB) Verschaltungen (vertikale Pfeile). Der frontoparietale Kortex bildet einen Schaltkreis mit den Assoziationsregionen der Basalganglien und des Cerebellums und repräsentiert die räumliche Abfolge der motorischen Sequenz. Die motorische Sequenz wird in einem Regelkreis zwischen den motorischen Kortexen und den motorischen Regionen der BG und des CB kodiert. (Abb. aus Hikosaka et al. 2002)

Eine mögliche Fehlerquelle dieses Modells stellen die gegebenenfalls inkongruenten Ergebnisse dieser zwei voneinander unabhängigen Systeme dar. Hierbei wird der pre-SMA als potentielle Hirnstruktur mit Kontrollfunktion gesehen, die diese Diskrepanz ausgleichen kann (Nakahara, Doya et al. 2001).

### 1.3.1 Lernphasen

Zwei Hauptphasen kennzeichnen die Entwicklung einer motorischen Performance: Die relativ kurze Früh- oder Schnell-Lern-Phase wird während des ersten Trainings durchlaufen und erhöht die Performancestärke sukzessiv bis zum Erreichen der Asymptote. Dabei wird

die zweite Phase der prozeduralen Gedächtniskonsolidierung getriggert, die Zeit erfordert und in der ein verspäteter Performance-Zugewinn sowie Stabilität gegenüber Interferenz erreicht wird (Karni and Sagi 1993; Hauptmann and Karni 2002). Unterstützt wird die Hypothese verschiedener Phasen durch die zu beobachtenden Unterschiede der aktivierten Hirnareale und weiterer Charakteristika: In der Frühphase des Lernprozesses ist überwiegend der dorsolaterale präfrontale Kortex sowie der pre-SMA vermehrt aktiv, in der späten Lernphase der intraparietale Sulcus und Precuneus (Sakai, Hikosaka et al. 1998). Kennzeichen der frühen Lernphase ist die starke Feedback-Gebundenheit und die Relevanz voller Aufmerksamkeit (Atkeson 1989). Durch den Lernprozess werden Genauigkeit und Schnelligkeit der Bewegungen nicht nur verbessert, sondern sind zudem weniger stark auf die Rückkopplungsprozesse angewiesen (Preilowski 1977).

Halsband differenzierte zwischen drei Lernstadien: Charakteristika der Initialphase sind langsame Bewegungen unter enger sensorischer Kontrolle, noch ohne flüssige Bewegungsabläufe und mit variabler Geschwindigkeit, welche sich in der intermediären Phase graduell verbessert (Halsband and Lange 2006). Im fortgeschrittenen Lernstadium erfolgen die Bewegungen automatisiert und mit erhöhter Geschwindigkeit, die Bewegungsmuster verlaufen synchronisierter.

#### **1.4 Theoretischer Hintergrund intermuraler Transfereffekte**

Unter dem intermuralen Transfer versteht man die Eigenschaft, dass eine motorische Fertigkeit, welche mit einer Hand erlernt wurde auch besser mit der kontralateralen Hand ausgeführt werden kann. Dieses Phänomen ist bislang nicht vollständig verstanden, was durch unterschiedliche Faktoren erklärt werden kann: (i) es fehlt an systematischen Untersuchungen, welche beide Transferrichtungen untersuchen (von der linken auf die rechte Hand und von der rechten auf die linke Hand), (ii) die motorischen Aufgaben sind sehr heterogen und beinhalten zum Teil implizite und explizite Lernsysteme und (iii) die Transferleistung kann in einer intrinsischen und einer extrinsischen Richtung erfolgen (s.u.). Zwei theoretische Konzepte stehen als Erklärungsmodell zur Verfügung: Taylor und Heilmann schlagen das „access model“ vor, dieses Modell postuliert eine gemeinsame Lernregion, auf die beide Hände im Falle eines Abrufes des gelernten motorischen Engrammes zugreifen kann (Taylor, Heilmann et al. 1980). Im Gegensatz hierzu postulieren Parlow und Kinsbourne das „cross activation model“, in dem motorische Engramme hemiphärenspezifisch abgelegt werden (Parlow, Kinsbourne et al. 1989).

## 1.5 Übersicht über die Transfereffekte vorhergehender Studien

Die bisherige Studienlage liefert ein sehr heterogenes Bild an Methodik zur Untersuchung motorischer Prozesse. Die Studien differieren sowohl in der untersuchten Transferrichtung als auch bezüglich des ausgewählten Testmediums (vgl. Tab.1). Der Großteil der Veröffentlichungen befasst sich mit der Transferleistung von der dominanten auf die nicht-dominante Hand (in der Tabelle: DH  $\Rightarrow$  NDH; (Perez, Tanaka et al. 2007; Perez, Wise et al. 2007). Weitere Studien erweitern diese Untersuchungen auf die entgegengesetzte Transferrichtung (in der Tabelle NDH  $\Rightarrow$  DH, (Thut, Cook et al. 1996; Criscimagna-Hemminger, Donchin et al. 2003; Wang and Sainburg 2003 ; Wang and Sainburg 2007)). Neben Testaufgaben wie „reaching movements (Criscimagna-Hemminger, Donchin et al. 2003; Wang and Sainburg 2003; Wang and Sainburg 2007) und „figure drawing“ (Thut, Cook et al. 1996) kommt insbesondere der Serial Reaction Time Task [SRTT] häufig zur Anwendung (Grafton, Hazeltine et al. 2002; Perez, Tanaka et al. 2007; Perez, Wise et al. 2007; Kirsch and Hoffman 2010). Dieser Test setzt allerdings im Gegensatz zu den anderen erwähnten Tests beim impliziten Lernen an. Hier stellt sich insbesondere die Frage, inwieweit Ergebnisse zur Untersuchung von impliziten Gedächtnisformen auf die hier analysierten expliziten Lernvorgänge übertragbar sind.

**Tab. 1: Studien mit rechtshändigen Probanden zur Untersuchung der intermanuellen Transferleistung auf die kontralaterale Hand nach dem Training einer Aufgabe mit der jeweils anderen Hand**

Studie	Transfer- richtung	Extrinsische/ Intrinsische Transformation	Paradigma	Ergebnisse
<b>Criscimagna-Hemminger et al. 2002</b>	DH $\Rightarrow$ NDH NDH $\Rightarrow$ DH	Trg. CW $\Rightarrow$ Transfer CCW = intrinsisch; Trg. CCW $\Rightarrow$ Transfer CCW = extrinsisch	Forcefield, Reaching movements	Transferleistung nur für extrinsische Bedingung und in Transferrichtung DH $\Rightarrow$ NDH $\Rightarrow$ Information die beim Lernen mit der DH erworben wird, wird in der rechten Hemisphäre repräsentiert und auf Bewegungen beider Händen abgestimmt; Repräsentation beim Lernen mit der NDH in der ND-Hemisphäre und Abstimmung nur auf die NDH
<b>Thut et al. 1996</b>	DH $\Rightarrow$ NDH NDH $\Rightarrow$ DH	Intrinsische Transformation = Mirror Version, Transferleistung zwischen proximalen bzw. distalen Muskel- gruppen	Figure drawing	Transferleistung bei Mirror Version Benefit der <u>Geschwindigkeitssteigerung</u> für Transferrichtung DH $\Rightarrow$ NDH, nicht für NDH $\Rightarrow$ DH Benefit der <u>Präzision</u> der Ausführung nur für Transferrichtung NDH $\Rightarrow$ DH Benefit des Transfers der Geschwindigkeit nur zwischen <u>proximalen</u> Muskelgruppen
<b>Perez et al. 2007 (1)</b>	DH $\Rightarrow$ NDH	mirror version= intrinsische Transformation; interponierte Random Blocks und Kontroll- sequenzen	SRTT fMRI	Transfer der motorischen Fertigkeit von der dominanten rechten auf die nicht-dominante linke Hand unter intrinsischer Bedingung

<b>Perez et al. 2007 (2)</b>	DH ⇒ NDH	Mirror Version = intrinsische Transformation; Trainingssequenz mit interponierten Random Blocks (zufällige Sequenz)	SRTT fMRI	Transfer der motorischen Fertigkeit von der dominanten rechten auf die nicht-dominante linke Hand unter intrinsischer Bedingung
<b>Grafton et al. 2002</b>	NDH ⇒ DH	Extrinsisch/ intrinsisch	SRTT	<u>Originalversion (extr.):</u> erfolgreiche Transferleistung <u>Mirror Version (intr.):</u> geringere aber signifikante Transferleistung, höhere Aktivität im sensomotorischen Kortex als bei Originalversion

(Trg. = Training; CW = clockwise, Rotation im Uhrzeigersinn; CCW = counter clockwise, Rotation entgegen dem Uhrzeigersinn; DH = dominante Hand, NDH = nicht dominante Hand; „Original version“ entspricht extrinsischer Transformation, „mirror version“ entspricht intrinsischer Transformation; extr. = extrinsisch, intr. = intrinsisch)

Die Diskrepanzen der Testbedingungen erschweren den Überblick über die komplexe Gesamtsituation der Studienlage, da die einzelnen Ergebnisse nur bedingt aufeinander übertragbar sind. Es wird deutlich, dass keine der Studien schematisch die Gesamtheit der genannten Aspekte sowohl für die Transferrichtung von der dominanten zur nicht-dominanten Hand als auch entgegengesetzt von der nicht-dominanten zur dominanten Hand aufgreift. Zudem fehlt in einigen Studien eine Kontrollbedingung, welche den Unterschied der Transferleistung erst verdeutlicht. Auch existieren für den Finger-Tapping-Test noch keine derart strukturierten Untersuchungen. An diesen Punkten setzt diese Studie an. So werden konsequent unter jeder Testbedingung beide Transferrichtungen untersucht. Zudem wird neben der direkten Generalisierung auf die kontralaterale Hand auch die Auswirkung auf die daran anschließende erneute Performance mit der Trainingshand beleuchtet. Dadurch werden Distraktoreffekte mit in die Untersuchung einbezogen. Im Gegensatz zu vorherigen Studien (Perez et al. 2007 (2); Grafton et al. 2002) kommen keine bildgebenden Verfahren (fMRT) zum Einsatz um die aktivierten Hirnareale aufzuzeigen. Vielmehr steht im Vordergrund das Lernen einer feinmotorischen Bewegung auf der Verhaltensebene mit Hilfe des Finger-Tapping-Tests systematisch aufzuarbeiten.

## 1.6 Hemisphärendominanz und interhemisphärische Interaktion

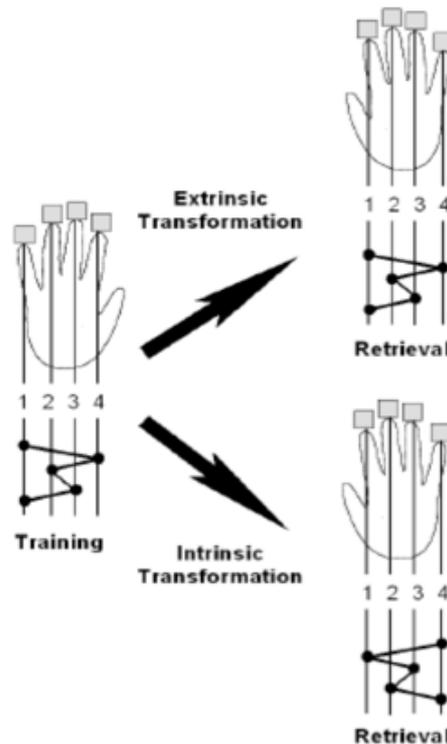
Die beiden Großhirnhemisphären unterscheiden sich in ihrer Informationsverarbeitung und zeigen nach dem Prinzip der zentralen Lateralisation Dominanz in unterschiedlichen Funktionen. Einen Erklärungsansatz hierfür gibt das Konzept der dualen Kodierung zerebraler Asymmetrien (Hausmann und Gunturkun 2003). Es umfasst die Lateralisation aus strukturellen Links-Rechts-Unterschieden des Gehirns als auch aus asymmetrischen

Interaktionen zwischen den Hemisphären. Zahlreiche Studien zeigten die Assoziation der linken Hemisphäre mit verschiedenen Aspekten motorischer Programme. Die für diese Studie besonders bedeutsamen Erkenntnisse sind die Zuständigkeit für Selektion und Abfrage motorischer sequentieller Bewegungen (Kimura and Archibald 1974) und serielle Bewegungsabfolge (Kimura 1977). Ergänzend wurden größere Schwierigkeiten bei der Ausführung sequentieller Aufgaben bei links- als auch bei rechtshemisphärischer Schädigung beobachtet (Haaland and Harrington 1994; Kimura and Archibald 1974; Kimura 1977). Resultierend ergab sich die Hypothese einer Dominanz der linken Hemisphäre in der motorischen Kontrolle (Halsband 1992). Da diese hemisphärische Asymmetrie bei Rechtshändern stärker ausgeprägt ist (Kim, Ashe et al. 1993), weisen diese eine deutlichere Dominanz der linken Hemisphäre bei der Kontrolle kognitiv-motorischer Aufgaben beider Hände auf (Haaland and Harrington 1996). Die linke Hemisphäre scheint als wichtiger Speicher auch linkshändiger Fertigkeiten zu fungieren (Grafton, Mazziotta et al. 1992).

### **1.7 Generalisierung einer motorischen Fertigkeit**

Für die vorliegende Studie ist im Hinblick auf die Generalisierung eine Unterscheidung zwischen der extrinsischen und der intrinsischen Bedingung von Bedeutung. Diese Differenzierung soll anhand eines Beispiels des auch in der vorliegenden Arbeit verwendeten Finger-Tapping-Tasks erläutert werden (siehe Abb. 2). Die genaue Aufgabenstellung wird in Kapitel 2.3 beschrieben.

Wird nach dem Training der linken Hand dieselbe Tastensequenz mit der rechten Hand ausgeführt, resultiert eine veränderte Abfolge der Fingerbewegung, da die jeweilige Fingeraktivität nicht mehr mit derselben Tastenantwort assoziiert ist. Diese Bedingung wird als extrinsisch, „goal-based“ oder „spatial-related“ bezeichnet (Cohen, Pascual-Leone et al. 2005). Wird mit der rechten Hand nicht die Original-Trainingssequenz, sondern eine zu dieser spiegelbildlich-orientierte abgefragt, ergibt sich eine Bewegung mit erhaltener Reihenfolge der Finger bei spiegelbildlich veränderter Tastenfolge.



**Abb. 2:** Schematisch dargestellte Abfolge der Fingerbewegungen unter den beiden Transferbedingungen

Diese Bedingung wird als intrinsisch oder „movement-based“ bezeichnet (Cohen, Pascal-Leone et al. 2005; Romei, Thut et al. 2009).

Der Transfer des Lerneffekts auf die Performance mit der anderen Hand unterliegt in Abhängigkeit von der gestellten motorischen Aufgabe dem Einfluss der beim Training eingesetzten Hand und der Tatsache, ob die Original- oder Spiegelbildversion mit der zweiten Hand durchgeführt wird. So wurde beobachtet, dass in „mirror-writing-Tests“ nach dem Üben mit der rechten Hand neben der Ausführung der original orientierten (= extrinsischen) Version insbesondere die der spiegelbildlich orientierten (= intrinsischen) Version verbessert werden konnte (Vaid and Stiles-Davis 1989). Das linkshändige Training beim Serial Reaction Time Task [SRTT], einem Test zur Untersuchung von impliziten Lernvorgängen, fördert stärker die original orientierte als die spiegelbildliche Version (Grafton, Hazeltine et al. 2002). Während der Kontrolle der intrinsisch orientierten Version wird die internale Repräsentation der Originalversion unverändert abgerufen, wohingegen bei der extrinsisch orientierten Bewegung eine zusätzliche kortikale Transformation erforderlich ist (Grafton, Hazeltine et al. 2002). Diese Berechnungsprozesse finden scheinbar in der linken Hemisphäre statt (Halsband and Lange 2006). Ähnliche Ergebnisse zeigen sich beim korrekten und spiegelbildlichen Schreiben. Somit sind bei rechtshändiger

Originalversion und linkshändiger Spiegelbildform ähnliche kortikale Aktivierungsmuster aktiv.

## **1.8 Geschlechtsspezifische Unterschiede beim motorischen Lernen**

Männer und Frauen zeigen Unterschiede in kognitiven Funktionen und deren Beeinflussung durch hormonelle Faktoren. Frauen erzielen bessere Ergebnisse in Tests zum verbalen Gedächtnis (Bleecker, Bolla-Wilson et al. 1988), wie dem Wiederabruf einer Geschichte, dem „Digit Test“ und dem „Word Fluency Test“ (Mann, Sasanuma et al. 1990). Männer hingegen zeigen bessere visuell-räumliche Fähigkeiten (Mann, Sasanuma et al. 1990; Hamilton 1995; Peters, Laeng et al. 1995; Basso, Harrington et al. 2000; McGowan and Duka 2000; Lewin, Wolgers et al. 2001; Astur, Tropp et al. 2004), sowie bessere Resultate in Orientierungsaufgaben (Gron, Wunderlich et al. 2000).

### **1.8.1 Geschlechtsunterschiede der zerebralen Asymmetrien**

Unterschiede in der zentralen Lateralisation können nach dem bereits erwähnten Konzept der dualen Kodierung der zerebralen Asymmetrie sowohl eine strukturelle (statische) als auch eine dynamische Ebene besitzen. Letztere kann unter anderem durch die aktuelle Konzentration der Sexualhormone moduliert werden. Einige Studien beschäftigen sich mit diesem Zusammenhang durch Untersuchungszeitpunkte zu verschiedenen Phasen des Menstruationszykluses (Maki, Rich et al. 2002; Hausmann 2005; Otero, Rodriguez et al. 2008). Die Resultate liefern jedoch ein sehr heterogenes Bild bezüglich der Art und Richtung der Interaktion. Zudem wird in den wenigsten Studien die Korrelation der Hormonspiegel während des Untersuchungszeitraums bestimmt und in die Auswertung einbezogen. Mehrere Studien kommen zu dem Ergebnis, dass bei Männern eine stärkere Ausprägung der Lateralisation verbaler (primär linkshemisphärisch) und räumlicher (primär rechtshemisphärisch) Verarbeitungsprozesse zu finden ist (McGlone 1978; Meinschaefer, Hausmann et al. 1999; Rasmjou, Hausmann et al. 1999). Kee et al. (Kee, Matteson et al. 1989) beobachteten beim Fingertapping eine verstärkte linkshemisphärische Aktivierung bei Männern und eine bilaterale Aktivierung bei Frauen. Dem entgegen stehen Erkenntnisse von Carlier et al., dass rechtshändige Mädchen eine stärkere Lateralisation als rechtshändige Jungen aufweisen (Carlier, Dumont et al. 1993).

### **1.8.2 Geschlechtsspezifische Unterschiede beim motorischen Lernen**

Der Komplexität des motorischen Gedächtnisses entsprechend sind auch die Studien, die geschlechtsspezifische Vorteile in unterschiedlichen Teilaspekten motorischen Lernens

herausstellen, sehr vielfältig. Frauen zeigten Überlegenheit in feinmotorischen Aufgaben, wie dem Purdue-Pegboard-Test (Bornstein 1986; Hall and Kimura 1995; Schmidt et al. 2000; Peters et al. 1990) und zum Teil in handschriftlichen Aufgaben (Cohen 1997), wobei in letzteren sehr inkonsistente Ergebnisse vorliegen und Männer zudem ihren Rückstand durch Training ausgleichen konnten (Dorfberger, Adi-Japha et al. 2009). Im Pegboard-Test hob eine Anpassung der Fingerlänge den geschlechtsbezogenen Unterschied auf. Es zeigte sich eine negative Korrelation der Performance-Stärke mit der Fingerlänge (Peters, Servos et al. 1990). Die Komplexität einer motorischen Aufgabe scheint hingegen eine Rolle zu spielen: In einfachen Finger-Tapping-Aufgaben ist das männliche Geschlecht in der Geschwindigkeit überlegen, nicht aber beim Faktor Korrektheit. Weibliche Probanden erzielen häufig in komplexeren Aufgaben bessere Ergebnisse. Wiederum andere Studien bestätigen den Vorteil des Geschlechts in der jeweiligen Aufgabe nicht (Davies et al. 2000; Hamstra-Bletz et al. 1990; Hausmann et al. 2004; Nicholson et al. 1996). Von Bedeutung ist der Aspekt, dass in der überwiegenden Anzahl der Studien die Beobachtung zu einem einzigen Zeitpunkt und ohne Berücksichtigung von Konsolidierungsprozessen und dessen Geschlechtsunterschieden stattfindet.

Ein weiterer Test, der bei der Untersuchung motorischen Lernens eingesetzt wird ist der Finger-to-thumb-Test, bei dem die Aufgabe darin besteht, im Wechsel die übrigen Fingern in festgelegter Reihenfolge und mit möglichst hoher Geschwindigkeit zum Daumen zu führen. Finger-Tapping- und Finger-to-Thumb-Studien zeigten bei den männlichen Probanden neben höheren Tippfrequenzen (Shimoyama, Ninchoji et al. 1990; Ruff and Parker 1993; Lissek, Hausmann et al. 2007; Dorfberger, Adi-Japha et al. 2009) auch eine stärkere Regelmäßigkeit bei geringerer Intertap-Variabilität (Schmidt et al. 2000). Lissek et al. stellten eine insgesamt höhere Hirnaktivität bei Frauen heraus mit besonderer Ausprägung in der ipsilateralen Hemisphäre und beim Einsetzen der dominanten Hand [DH], wohingegen die Aktivität bei den männlichen Testpersonen im Besonderen in den Basalganglien zu finden war. Es konnte jedoch keine Relation zwischen Tippfrequenz und kortikaler Aktivität aufgezeigt werden. Die geschlechtsspezifischen Performance-Unterschiede verringerten sich mit steigender Komplexität der Aufgabe und dem Einsatz der nichtdominanten Hand [NDH] (Lissek, Hausmann et al. 2007). Dorfberger hingegen beobachtete die Unterschiede in der Geschwindigkeit sowohl beim Nutzen der dominanten als auch der nicht-dominanten Hand (Dorfberger, Adi-Japha et al. 2009).

Ein Erklärungsansatz für die geschlechtsspezifischen Differenzen bietet eine potenziell unterschiedliche Rekrutierung aktiver Hirnareale: der motorischen Kortexareale, parietalen Regionen und der Basalganglien. Dabei können trotz geschlechtsspezifischer Unterschiede

in cerebraler Aktivierung ähnliche motorische Ergebnisse erreicht werden (Lissek, Hausmann et al. 2007).

Der mögliche hormonelle Einfluss auf Performance-Unterschiede lässt sich durch Ergebnisse bei Finger-to-thumb-Tests unterstreichen, bei denen männliche Probanden der postpubertären Gruppe der 17-Jährigen im Gegensatz zu präpubertären Teilnehmern einen signifikanten Vorteil gegenüber gleichaltrigen Probandinnen aufwiesen (Dorfberger, Adi-Japha et al. 2009). Dabei war initial zu Testbeginn sowohl zwischen den Geschlechtern als auch zwischen Probandengruppen verschiedenen Alters kein signifikanter Unterschied zu beobachten. Erst während der Trainingssession ergab sich eine stärkere Geschwindigkeitssteigerung bei den postpubertären männlichen Probanden und folglich ein größerer Benefit des Trainings in dieser Gruppe. Kein signifikanter Geschlechtsunterschied zeigte sich in der Fehlerrate und dessen Verminderung.

In einer 24 Stunden andauernden Phase im Anschluss an das Training war ein zusätzlicher Lerneffekt zu erkennen, der im Vergleich mit dem Leistungsabwurf direkt im Anschluss an das Training in allen drei Altersgruppen beim männlichen Geschlecht zu deutlichen zusätzlichen Steigerungen führte. Die Aufrechterhaltung dieses Lerneffekts über einen Zeitraum von sechs Wochen war im Hinblick auf den Faktor Geschwindigkeit bei beiden Geschlechtern vorhanden, jedoch stärker bei männlichen Probanden ausgeprägt. Wohingegen die Gruppe der postpubertären Probandinnen beim Wiederabwurf nach sechs Wochen eine höhere Fehlerrate als in der 24-Stunden-Posttrainingsgruppe bot. Unklar blieb, ob die Ursache der Performance-Unterschiede in peripheren oder zentralen Faktoren liegt (Dorfberger, Adi-Japha et al. 2009).

## **1.9 Motivation und Fragestellung der Studie**

Zahlreiche Studien befassen sich mit Konsolidierungsprozessen einer motorischen Fertigkeit und deren intrinsischen und extrinsischen Transformation. Die überwiegende Anzahl der Untersuchungen, die sich mit motorischen Lernprozessen befassen, setzen mit ihrer Hypothese beim impliziten Lernen an. Einer der am häufigsten eingesetzten Tests ist der Serial Reaction Time Task [SRTT]. Im Gegensatz dazu wird in der vorliegenden Studie der Finger-Tapping-Task angewandt und der Proband explizit darüber in Kenntnis gesetzt, dass ein Lernprozess untersucht wird.

Folgende Aspekte sollen untersucht werden:

**1a** Ist die Generalisierung einer motorischen Fertigkeit für eine explizit erlernte motorische Fertigkeit mit der rechten (dominanten) und linken (nicht-dominanten)

Hand nachweisbar? Hierzu wird eine Bewegungssequenz mit der dominanten oder der nicht-dominanten Hand erlernt und die Transferleistung auf die jeweils andere Hand geprüft.

**1b** Sind die Ergebnisse bisheriger Studien der stärkeren Transformationsleistung unter der extrinsischen Bedingung auf den Finger-Tapping-Task übertragbar? Wie unter der Fragestellung 1a soll der Transfereffekt auf die andere Hand untersucht werden, dieses jedoch unter dem Gesichtspunkt der intrinsischen und der extrinsischen Transformation der Sequenz. Es schließt sich somit die Frage an, ob die extrinsisch also „goal-based“ Transformation in der kontralateralen Hand besser ausgeführt wird als die intrinsische also „movement-based“ Transformation.

**2** Was bewirkt nun dieser Abruf (intrinsisch oder extrinsisch) der kontralateralen Hand auf die zerebralen Lernstrukturen? Fördert eine an das Training anschließende extrinsisch oder intrinsisch basierte Fertigkeit den Konsolidierungsprozess und damit die Performance der Originalversion mit der Trainingshand? Oder tritt der gegenteilige distraktive Effekt einer zwischen Training und Abruf erfolgenden Testung unter intrinsischer, extrinsischer oder völlig neu transformierter Sequenz auf? Diese Fragestellung untersucht somit den Einfluss der Bewegung der kontralateralen Hand auf den zuvor angelegten Gedächtnisfad im motorischen System.

**3** In einem weiteren Schritt wird geprüft, ob auch nach 12 Stunden diese Abrufprozesse erhalten sind, d.h. nach einem mittelfristigen Intervall dieser motorische Gedächtnisfad noch reaktivierbar ist.

**4** Ist ein geschlechtsspezifischer Unterschied in der Trainingsphase des Finger-Tapping-Task nachweisbar? In diesem Zusammenhang wird geprüft, ob größere Differenzen bei den Geschlechtern beim Teilaspekt Geschwindigkeit oder Genauigkeit vorliegen.

## **2 Probanden, Methoden und Materialien**

### **2.1 Probandenkollektiv**

Der Studienaufbau gliedert sich in zwei Abschnitte. An Teil I der Studie nahmen 132 gesunde Probanden im Alter von 18 bis 29 Jahren teil (mittleres Alter: 24,2 Jahre, (SD 2,53; n = 55 Frauen, n = 77 Männer). Alle Testpersonen waren gemäß der Definition des Edinburgh Handedness Inventory nach Oldfield (1971; s. Anhang) Rechtshänder und wurden über Aushänge in der Universität zu Kiel rekrutiert. Als Ausschlusskriterien der Studie galten neurologische Vorerkrankungen, regelmäßige Medikamenteneinnahme (mit Ausnahme oraler Kontrazeptiva), Arbeit im Schichtdienst mit der letzten Nachtschicht in dem Zeitraum von vier Wochen vor Beginn der Testung, Musiker, Probanden, die professionell als Schreibkräfte arbeiten, Personen mit einem unregelmäßigen Schlaf-Wach-Rhythmus oder chronischen Schlafstörungen sowie Personen mit Substanzabhängigkeit. Anhand eines Fragebogens zu den Themen neurologische Erkrankungen, Traumata, berufliche Tätigkeit am Computer oder als Musiker, Arbeit im Schichtdienst, Medikamenteneinnahme, Substanzabusus und anderen Aspekten, wurden die Ausschlusskriterien detektiert und im Probandenkollektiv angewandt. Der Fragebogen umfasste 15 geschlossene Fragen, die mit ja oder nein zu beantworten und gegebenenfalls zur Erläuterung waren.

Alle Teilnehmer wurden über den Ablauf der Studie informiert, mit Ausnahme der Kenntnis über die beabsichtigte Untersuchung der Transferleistung auf die Performance mit der anderen Hand, und erteilten ihr schriftliches Einverständnis. Zu jedem Zeitpunkt war ein Rücktritt von der Studie möglich. Vor Beginn der Studie lag eine Genehmigung der Ethikkommission der Christian-Albrecht-Universität zu Kiel vor (AZ: 187/08).

### **2.2 Studiendesign**

Es erfolgte die Einteilung der Probanden in vier Blöcke mit insgesamt 13 Untergruppen à zwölf Personen (Tab. 2). Um eine Beeinflussung der Testergebnisse durch mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede zu vermeiden, wurde darauf geachtet, dass jede Untergruppe sowohl männliche als auch weibliche Teilnehmer einschloss. Eine Randomisierung wurde durch die Anwendung eines Losverfahrens gewährleistet.

### **2.3 Aufgabenstellung: Sequenzieller Finger-Tapping-Task**

Zum Einsatz kam der sequenzielle Finger-Tapping-Task mit fünfstelliger Sequenz, wie er auch bei Walker verwendet wurde (Walker, Brakefield et al. 2002). Die Messungen fanden unter gleichen Bedingungen in einem ruhigen Raum, in sitzender Position, an einem

Schreibtisch statt. Zur Durchführung wurde an einen Laptop (Samsung R70) eine externe handelsübliche Tastatur angeschlossen, bei der neben der für die Studie benötigten Tasten alle übrigen entfernt wurden. Angebracht waren vier parallel angeordnete und mit eins bis vier beschriftete Tasten, sowie zur besseren Übersicht die erneute Nummerierung oberhalb der jeweiligen Taste. Es erfolgte eine Instruktion der Probanden, zwölf Stunden vor Beginn sowie im gesamten Untersuchungszeitraum kein Koffein und keinen Alkohol zu konsumieren und in der vorangehenden Nacht etwa acht Stunden zu schlafen. Ebenso wurden die Teilnehmer darauf hingewiesen, dass die gelernte Sequenz nach Abschluss der Trainingsphase nicht weiter geübt werden durfte, sowie bei Partizipation in der Tagesgruppe tagsüber nicht zu schlafen.

Der Untersuchungsablauf bestand aus einer Lern-, Transformations- und Abrufphase. Je nach Gruppenzugehörigkeit wurde in den verschiedenen Phasen die linke oder rechte Hand eingesetzt. Dem Start der Messungen ging ein Übungsdurchlauf voraus, bei dem die Probanden die Zahlenfolge mit der Trainingshand der jeweiligen Gruppe viermalig tippten, um die richtige Zuordnung von Finger und Taste zu gewährleisten. Die Trainingsphase beinhaltete 15 Durchgänge à 30 Sekunden, wobei zwischen jedem Durchgang eine Pause von 30 Sekunden stattfand. Jeder Tastendruck wurde dem Probanden (als ">" Zeichen) auf dem Bildschirm angezeigt, unabhängig davon, ob die richtige Taste betätigt wurde oder nicht, so dass keine Rückmeldung über die Korrektheit der getippten Tastenkombination gegeben wurde. Die Aufgabe bestand darin die Sequenz so oft, aber auch so fehlerfrei wie möglich anzuschlagen.

Während der gesamten Messungsdurchläufe wurde die Sequenz auf dem Computerbildschirm angezeigt, um die Belastung des Arbeitsgedächtnisses möglichst gering zu halten: Somit war der Proband jederzeit in der Lage, die aufgeforderte Sequenz anzusehen und sich selbst zu korrigieren. Es wurden vier verschiedene Zahlenfolgen eingesetzt: "4-1-3-2-4" (entsprechend der Studie von Walker et al., 2002), "2-3-1-4-2", sowie zwei spiegelbildliche Sequenzen "1-4-2-3-1" und "3-2-4-1-3" (siehe auch Abbildung 2).

In der Lernphase trainierten die Probanden in 15 Durchgängen mit der Gesamtdauer von 15 Minuten. Jeweils 30 Sekunden erfolgte die motorische Aufgabe und 30 Sekunden eine Pause. Erfasst wurde die Gesamtzahl der korrekt angeschlagenen Sequenzen pro Durchlauf über 30 Sekunden. Diese Anzahl der richtig getippten Sequenzen wird als Geschwindigkeit definiert. Die Korrektheit der getippten Tastenfolge ergab sich als Verhältnis der Fehler pro Lauf und der Anzahl der korrekten Sequenzen pro 30 Sekunden. Die Fehler wurden wie folgt berechnet:

$$\text{Fehler pro Sequenz} = \frac{\text{Zahl der Tastenanschläge} - 5 \times \text{Zahl der korrekten Sequenzen}}{\text{Zahl der korrekten Sequenzen}}$$

An die Lernphase schloss sich eine vierminütige Pause an sowie die Läufe der Transformationsphase und der Abrufphase, beide mit der jeweiligen Gesamtdauer von vier Minuten, zusammengesetzt aus 4 Durchgängen à 30 Sekunden alternierend mit Pausen von 30 Sekunden Länge. Der Testlauf mit der jeweils anderen Hand bestand aus dem Tippen einer neuen Sequenz, die in keinem Zusammenhang zur ersteren stand oder einer transformierten Sequenz, die sich intrinsisch oder extrinsisch zur trainierten verhielt. Unter der extrinsischen Bedingung konnte die Zahlenfolge des Trainings (z.B. „4-1-3-2-4“) genutzt werden, sodass unterschiedliche Finger als beim Trainingsdurchlauf aktiv wurden. Bei intrinsischer Vorbedingung wurde die spiegelbildliche Sequenz angewandt (hier „1-4-2-3-1“). (In dem genannten Beispiel würde beim Training mit der linken Hand die erste Zahl „4“ mit dem Zeigefinger getippt werden, unter der extrinsischen Bedingung der rechten Hand mit dem kleinen Finger, unter der intrinsischen Bedingung wäre die erste Zahl eine „1“ und würde mit dem rechten Zeigefinger getippt werden)

In der Abrufphase wurde die Sequenz der Trainingsphase mit der zuerst trainierten Hand getestet.

Block A untergliederte sich in die Gruppen eins bis vier, Block B in Gruppe fünf bis acht, Block C bestand aus den Gruppen neun bis elf (Abb.3). Probanden der Blöcke A und C trainierten mit der linken Hand, die des Blocks B begannen die Untersuchung mit der rechten Hand. Der Einsatz der vier möglichen Sequenzen hielt sich im Gleichgewicht, sodass jede drei Mal in der jeweiligen Gruppe vertreten war. Block A und B absolvierten das Training um 8 Uhr, Test- und Abrufphase folgten unmittelbar im Anschluss nach einer vierminütigen Pause. Das Intervenieren einer Pause hatte die Intention einer eventuellen Performanceverschlechterung durch Ermüdungserscheinungen entgegenzuwirken. Dieser Ablauf ermöglichte das Ausmaß der Transferleistung unter der jeweiligen Bedingung (intrinsisch in Gruppe 1 und 5/ extrinsisch in Gruppe 4 und 8/ Pause in Gruppe 2 und 6/ neue Sequenz in Gruppe 3 und 7) in unmittelbarem Anschluss an die Trainingsphase zu beurteilen. In Block C fand das Training um 8 Uhr statt, Testphase (unter intrinsischer

Block	Gruppe	8 Uhr	20 Uhr	
A	1	Training LH	Intr. Transf. RH	Abruf LH
	2	Training LH	Pause RH	Abruf LH
	3	Training LH	Neue Seq. RH	Abruf LH
	4	Training LH	Extr. Transf. RH	Abruf LH
B	5	Training RH	Intr. Transf. LH	Abruf RH
	6	Training RH	Pause LH	Abruf RH
	7	Training RH	Neue Seq. LH	Abruf RH
	8	Training RH	Extr. Transf. LH	Abruf RH
C	9	Training LH	Intr. Transf. RH	Abruf LH
	10	Training LH	Pause RH	Abruf LH
	11	Training LH	Extr. Seq. RH	Abruf LH

**Abb.3: Studiendesign**

LH = Linke Hand, RH = Rechte Hand, intr. Transf. = intrinsische Transformation, extr. Transf. = extrinsische Transformation, neue Seq. = neue Sequenz

Bedingung in Gruppe 9, mit Pause in Gruppe 10, unter extrinsischer Bedingung in Gruppe 11) und Abrufphase erfolgten nach einem freien Intervall von 12 Stunden um 20 Uhr desselben Tages. Somit ließen die Ergebnisse dieser Testgruppen Rückschlüsse auf den Transfer nach einem Zeitintervall ohne Schlaf zu.

## 2.4 Beurteilung der Aufmerksamkeit und Schlafqualität

### 2.4.1 Stanford Sleepiness Scale

Die Stanford Sleepiness Scale (SSS) (s. Anhang) ist ein von Hoddes, Dement et al. 1972, 1973 entwickeltes und mittlerweile international etabliertes Fragebogenverfahren zur introspektiven Erfassung des (individuellen) subjektiven Wachheitszustands zum aktuellen Zeitpunkt. Durch Auswahl der zutreffendsten von sieben Vigilanzstufen wird ein bestimmter Punktwert erreicht, wobei der Scorewert von 1 den maximalen Wachheitszustand repräsentiert („Fühle mich aktiv, vital, voll da, hellwach“), der Wert von 7 („Kämpfe nicht mehr gegen den Schlaf, schlafe gleich ein; traumartige Gedanken“) die letzte Vigilanzstufe vor dem Schlafzustand. Eine Normierung der Scores sowie Validitätsprüfungen sind für die SSS nicht publiziert.

In der vorliegenden Studie wurde die Wachheit jeweils zum Zeitpunkt der Lern- und der Abrufphase in einer deutschsprachigen Version des Tests dokumentiert.

### 2.4.2 Pittsburgh-Schlafqualitätsindex (PSQI)

Weitere Information über Schlafrhythmus und –qualität erfolgte über die Erhebung der Schlafqualität mittels des Pittsburgh Sleep Quality Questionnaire (PSQI). Von Buysse 1989 (Buysse et al. 1989) entwickelt, liegt seit 1996 von Riemann und Backhaus eine deutsche Version vor. Der PSQI erfasst retrospektiv für einen Zeitraum von vier Wochen Angaben zu den Themen gewöhnliche Einschlaf- und Aufwachzeiten, Einschlaf latenz, Schlafdauer, subjektive Schlafqualität, schlafstörende Faktoren, Schlaffeffizienz, Tagesmüdigkeit und Konsum von schlaffördernden Medikamenten. Es werden 19 Fragen zur Selbst- und 5 Fragen zur Fremdbewertung durch Partner oder Mitbewohner gestellt, wobei in die Auswertung nur 18 Fragen der Selbstbewertung einfließen. Durch die Vergabe eines Einzelscores zu jeder Frage, der einen Wert zwischen 0 und 3 annehmen kann, wobei 0 für den niedrigsten und 3 für den höchsten Ausprägungsgrad steht, ergibt sich ein summierter Gesamtscore von 0 bis 21. Der empirisch ermittelte cut-off-Wert von 5 ermöglicht eine Differenzierung von guter (Wert < 5) und schlechter Schlafqualität (Wert ≥ 5). Die Test-Retest-Reliabilität wurde in vier Studien überprüft und weist einen Wert zwischen 0,82 und 0,89 auf.

### 2.4.3 Eigenschaftswörterliste

Um Auskunft über Aufmerksamkeit, Konzentration, Desaktivität und Fatigue zum jeweiligen Messzeitpunkt zu erhalten, wurde die Eigenschaftswörterliste (EWL; siehe Anhang) eingesetzt (Janke and Debus, 1978). Diese quantifiziert als mehrdimensionales komplexes Selbstbeurteilungsverfahren die aktuelle Befindlichkeit. Es existiert eine lange (EWL-N) und eine kurze Form des Tests (EWL-K). Die lange Version umfasst 161 Adjektive der im Folgenden dargestellten 6 übergeordneten Bereiche mit insgesamt 15 Subskalen (Befindlichkeitsaspekten):

- |                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1. Leistungsbezogene Aktivität | - Aktiviertheit: 19 Items     |
|                                | - Konzentriertheit: 6 Items   |
| 2. Allgemeine Desaktivität     | - Desaktiviertheit: 16 Items  |
|                                | - Müdigkeit: 7 Items          |
|                                | - Benommenheit: 9 Items       |
| 3. Extraversion/Introversion   | - Extrovertiertheit: 9 Items  |
|                                | - Introvertiertheit: 8 Items  |
| 4. Allgemeines Wohlbehagen     | - Selbstsicherheit: 8 Items   |
|                                | - gehobene Stimmung: 16 Items |

5. Emotionale Gereiztheit
- Erregtheit: 15 Items
  - Empfindlichkeit: 4 Items
  - Ärger: 7 Items
6. Angst
- Ängstlichkeit: 7 Items
  - Deprimiertheit: 20 Items
  - Verträumtheit: 10 Items

In der vorliegenden Studie wurden für die Abfrage nur folgende Teilbereiche angewandt, die sich auf Wachheit und Schläfrigkeit beziehen:

Aktiviertheit, Konzentriertheit, Desaktiviertheit, Müdigkeit, Benommenheit, gehobene Stimmung, Erregtheit, Verträumtheit. Die Testperson entscheidet spontan und möglichst rasch, ob das jeweilige von insgesamt 98 Eigenschaftswörtern auf sein derzeitiges Befinden zutrifft oder nicht. Die Reihenfolge der Wörter erfolgt hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit gemischt und ist somit nicht nach Bereichen oder Subskalen geordnet. Die Auswertung erfolgte manuell, indem die Summe aller Kreuze für „trifft zu“ für jede Subskala erfasst wird. Somit berechnete sich ein Score zwischen 1,0 (jedes Item der Subskala ausgewählt) und 0 (kein Item der Subskala ausgewählt).

#### 2.4.4 Beurteilung der Händigkeit

Zur Überprüfung der Händigkeit diente die deutsche Übersetzung des „Edinburgh Handedness Inventory“ nach Oldfield (1971; s. Anhang). In 20 Fragen gibt der Proband darüber Auskunft, mit welcher Hand er bestimmte Tätigkeiten präferenziell oder generell ausführt. Dabei hat er die Auswahlmöglichkeit zwischen den Aussagen „stets links“, „meistens links“, „mit beiden Händen“, „meist rechts“ und „stets rechts“. Tätigkeiten, die noch nie ausgeführt wurden, sollen ausgelassen werden. Für die Auswertung nach Oldfield (1971) wurde ein Lateralitätsindex bestimmt, der den Grad der Rechts- bzw. Linkshändigkeit ermittelt und sich folgendermaßen berechnet lässt:

$$100 \times \frac{\sum \text{Kreuze rechts} - \sum \text{Kreuze links}}{\sum \text{Kreuze rechts} + \sum \text{Kreuze links}}$$

Dabei werden unter „Kreuze rechts“ sowohl „stets rechts“, als auch „meist rechts“ erfasst, unter „Kreuze links“ „stets links“ und „meist links“. Der berechnete Wert liegt zwischen +100 (*vollständiger* Rechtshänder) und – 100 (*vollständiger* Linkshänder).

## 2.5 Teil II der Studie

Teil II der Studie untersucht die Geschlechtsunterschiede hinsichtlich des Tapping beim Finger Tapping Test; hier wurden die Daten der 132 oben aufgeführten sowie weiterer 121 Probanden, folglich einer Gesamtzahl von 253 Probanden im Alter von 18 bis 29 Jahren verwendet (mittleres Alter: 23,7 Jahre; n = 146 Frauen, n = 107 Männer). Es galten dieselben Bedingungen und Ausschlusskriterien wie in Teil I. Die 121 zusätzlich analysierten Datensätze wurden nicht selbst erhoben, sondern aus einer vorherigen Studie übernommen (Witt, Margraf et al. 2010).

Das Probandenkollektiv setzte sich wie in Tabelle 2 dargestellt zusammen. Die Untersuchungen erfolgten um 8 Uhr bzw. 20 Uhr.

Tab. 2: Probandenkollektiv des Teils II der Studie

	Frauen	Männer	gesamt
<b>Probandenzahl</b>	n = 146	n = 107	n = 253
<b>Mittleres Alter (Jahre)</b>	23,63	24,33	23,92
<b>Lernphase 8 Uhr</b>	n = 112	n = 80	n = 192
<b>Lernphase 20 Uhr</b>	n = 34	n = 27	n = 61

In die Auswertung wurde nur die Lernphase einbezogen, die in Aufbau und Ablauf identisch zu der aus Teil I der Studie war und ebenfalls aus 15 Durchgängen bestand.

## 2.6 Statistische Analysen

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS.14.0. Mittels ANOVA (Analysis of Variance, Varianzanalysen) mit Messwertwiederholung wurden signifikante Unterschiede der einzelnen Gruppen herausgestellt. Als unabhängige Variable wurden die verschiedenen Gruppen definiert. Die einzelnen abhängigen Variablen/ Zielvariablen schlossen Geschwindigkeit der Performance, Anzahl der korrekt absolvierten Sequenzen und Anzahl der Fehler pro korrekt getippter Sequenz ein. Als Messwertwiederholungsfaktor wurden die einzelnen Läufe des Trainings- bzw. der Abrufphasen eingeschlossen, wobei zur

Analyse des Trainingseffektes die Mittelwerte der letzten drei Trainingsläufe und der vier Läufe der Transformations- und Abrufphase herangezogen wurden. Normalverteilte Daten wurden mit parametrischen Tests verglichen, nicht-normalverteilte Daten wurden mittels non-parametrischen Tests ausgewertet. Ob eine Normalverteilung vorlag, wurde mit dem Kolmogorow-Smirnow Test ermittelt. Unterschiede zwischen mehreren Gruppen wurden mittels einer One way ANOVA analysiert, und Unterschiede hinsichtlich der Geschlechterverteilung wurden mit dem Exakten Test nach Fisher berechnet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Probandenkollektiv

Die Zusammensetzung des Probandenkollektivs mit insgesamt 132 Probanden im Alter von 18 bis 29 Jahren sowie die Struktur der einzelnen Gruppen sind in Tabelle 3 dargestellt. Das mittlere Alter betrug 24,2 Jahre (SD 2,53). Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich des Alters (Oneway ANOVA  $F = 1,3$ ;  $p = 0,23$ ). Ebenso ergab die Geschlechterverteilung nach Fishers Exaktem Test keine Unterschiede ( $F = 2,2$ ;  $p = 0,99$ )

**Tabelle 3: Altersstruktur und Geschlechterverteilung der einzelnen Gruppen**

GRUPPE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	GES.
Probanden- zahl	gesamt	12	12	12	12	11	12	13	12	12	12	12	132
	Männer	6	4	4	5	5	6	5	5	5	6	4	55
	Frauen	6	8	8	7	6	6	8	7	7	6	8	77
Mittleres Alter	gesamt	24,6	22,9	24,0	23,9	24,1	26,1	24,1	24,7	23,3	24,4	24,3	24,2

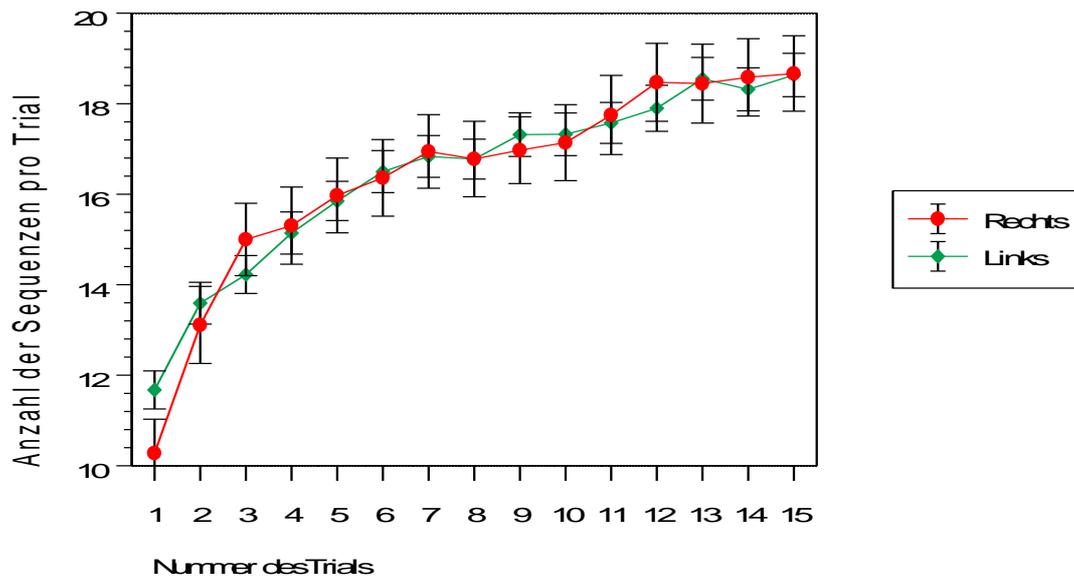
#### 3.2 Vergleich der Performance beim Training

Zur Auswertung wurden zunächst die Ergebnisse der 15 Trainingsläufe unter Berücksichtigung der beim Training eingesetzten Hand, der getippten Sequenz und der Tageszeit analysiert.

##### 3.2.1 Performance in der Trainingsphase im Vergleich der eingesetzten Hand

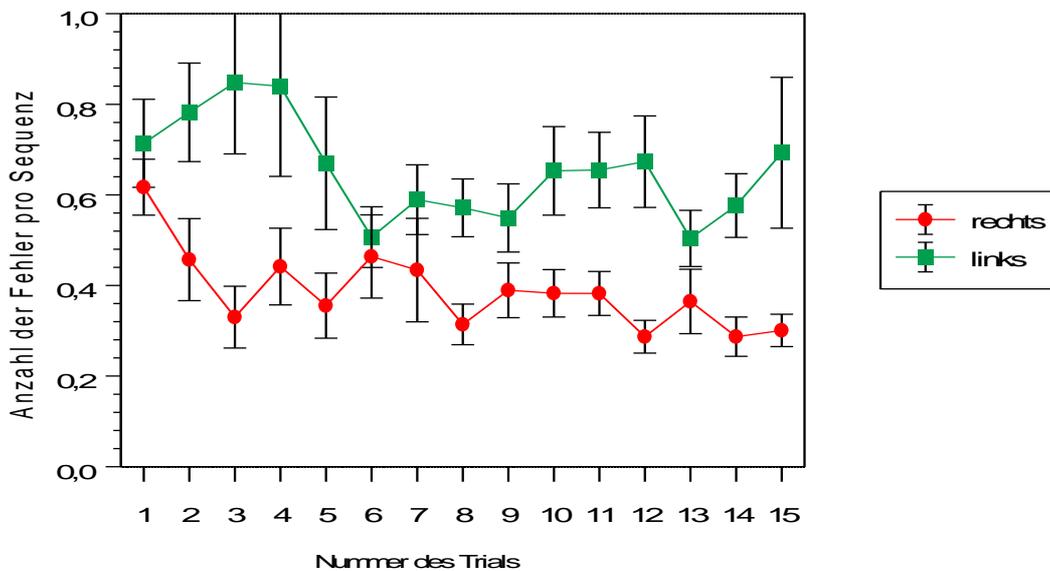
Zur Untersuchung des Verlaufs der Performancesteigerung in Abhängigkeit von der im Training eingesetzten Hand wurden die Probanden in zwei Gruppen (Training mit der rechten Hand bzw. mit der linken Hand) unterteilt und die Steigerung der Anzahl der Sequenzen pro Durchlauf in einer ANOVA mit Messwertwiederholung analysiert. Wie in Abbildung 4 dargestellt zeigten sich für die Geschwindigkeit (definiert als Anzahl korrekt getippter Sequenzen pro Durchlauf von 30 Sekunden) signifikante Steigerungen ( $F=113,07$ ,  $p<0,001$ ). Im Mittel tippten die rechtshändig getesteten Probanden in den ersten drei Durchläufen 12,8 Sequenzen (SD 4,54), in den letzten drei Läufen 18,56 Sequenzen (SD 4,98). Die linkshändig trainierenden Probanden steigerten sich von durchschnittlich 12,7 Sequenzen (SD 4,24) auf 18,38 Sequenzen (SD 4,84). Keine Signifikanz bestand für den Faktor Gruppe (lernende Hand) ( $F=0,02$ ,  $p=0,88$ ) und die Interaktion Geschwindigkeit x

lernende Hand ( $F=1,21$ ,  $p=0,26$ ).



**Abb. 4: Steigerung der Geschwindigkeit über die 15 Trainings-Durchläufe für das Training mit der rechten bzw. linken Hand (Mittelwerte und Standardabweichung). Die ANOVA mit multiplen Messwiederholungen zeigte keine signifikanten Unterschiede für den Faktor Hand (gelernt mit der linken oder der rechten Hand).**

Auch die Tippfrequenz (Anzahl der gesamten Tastenschläge pro 30 Sekunden Lauf) zeigte während des Trainingsverlaufes eine signifikante Steigerung ( $F= 177,4$ ,  $p<0,001$ ). Die Anzahl der Fehler pro Durchlauf verringerte sich innerhalb des Trainings von einem Durchschnittswert von 0,47 Fehlern (SD 0,5) auf 0,32 Fehler pro Sequenz (SD 0,25) bei den rechtshändig bzw. von 0,78 (SD 0,88) auf 0,59 Fehler pro Sequenz (SD 0,69) bei den linkshändig Trainierenden (Abbildung 5). Diese Reduktion im Verlauf der 15 Läufe stellte sich in einer ANOVA mit der Genauigkeit (Fehler pro Sequenz) als Messwertwiederholungsfaktor als nicht signifikant heraus ( $F=1,24$ ,  $p=0,24$ ). Ebenso war auch keine Signifikanz der Interaktion Genauigkeit x Gruppe gegeben ( $F= 0,95$ ,  $p=0,51$ ). Allerdings war die Fehleranzahl in der gesamten Trainingsphase in der Gruppe der rechtshändig im Vergleich zu linkshändig Trainierenden signifikant geringer ( $F=8,27$ ,  $p<0,01$ ).

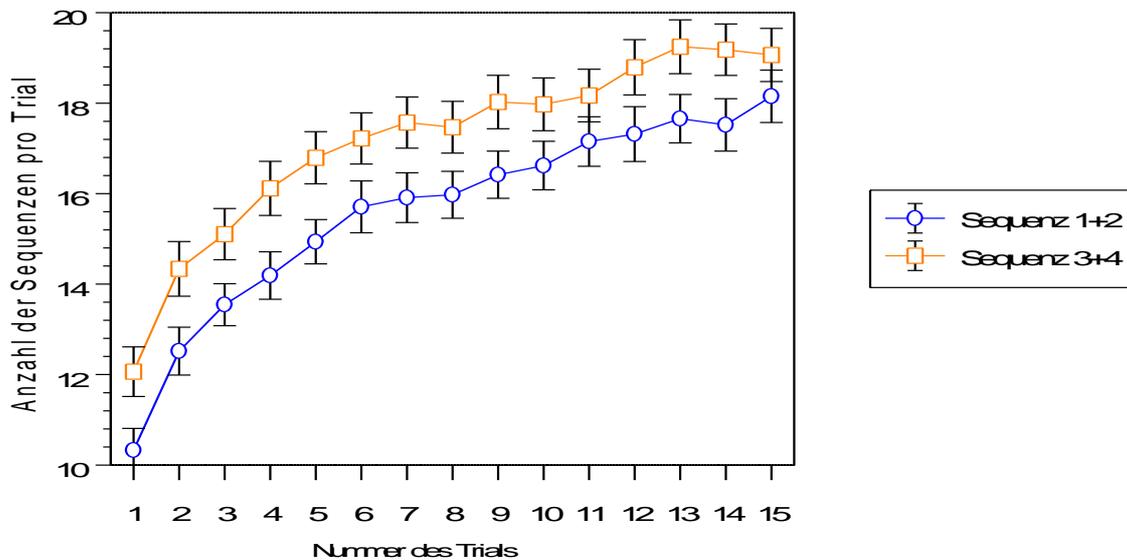


**Abb. 5: Reduktion der Fehleranzahl innerhalb des Trainings**  
 Dargestellt sind die Mittelwerte der Fehleranzahl pro Sequenz für das Training mit der rechten bzw. linken Hand und deren Standardabweichungen.

Zusammenfassend findet sich somit eine hochsignifikante Steigerung der Performance wobei sich hinsichtlich des Geschwindigkeitsmaßes keine signifikanten Unterschiede zwischen der rechten und der linken lernenden Hand ergab. Hinsichtlich der Genauigkeit war die rechte und somit dominante Hand signifikant besser.

### 3.2.2 Effekt der erlernten Sequenz

Um einen möglichen Effekt der zugeteilten Sequenz auf die Performancesteigerung aufzudecken, wurde eine ANOVA durchgeführt. Hierbei wurden, wie in Abbildung 6 dargestellt, die sich jeweils spiegelbildlich zueinander verhaltenden Sequenzen als eine Gruppe gewertet (Gruppe 1= Sequenz 1 [2-3-1-4-2] und 2 [3-2-4-1-3]; Gruppe 2 = Sequenz 3 [4-1-3-2-4] und 4 [1-4-2-3-1]), um darzulegen, ob eine bestimmte Fingerabfolge leichter auszuführen war als eine andere. Eine ANOVA mit dem Faktor Geschwindigkeit zeigt, dass die Mittelwerte der Durchläufe beim Einsatz der Sequenzen 3 oder 4 signifikant größer sind als bei Einsatz der Sequenzen 1 oder 2 ( $F = 6,29$ ,  $p = 0,01$ ). Die Interaktion Lernen x Gruppe erwies sich als nicht signifikant ( $F = 1,04$ ,  $p = 0,41$ ). Eine mögliche ungleiche Verteilung der Sequenzen unter den beiden Geschlechtergruppen und dadurch potentiell bessere Ergebnisse eines Geschlechts wurde durch den  $\chi^2$ -Test widerlegt ( $p = 0,46$ ). In Teil II der Studie (Abschnitt 3.5) wird die Trainingsleistung in Abhängigkeit von dem Geschlecht näher untersucht.



**Abb. 6: Steigerung der Geschwindigkeit innerhalb der Trainingsphase für die Sequenzen 1 und 2 bzw. 3 und 4 (angezeigt sind Anzahl der Sequenzen und die jeweiligen Standardabweichungen). Es zeigt sich, dass die Sequenzen 3 und 4 mit einer höheren Performance einhergehen als die Sequenzen 1 und 2.**

### 3.2.3 Effekt der Tageszeit des Trainings

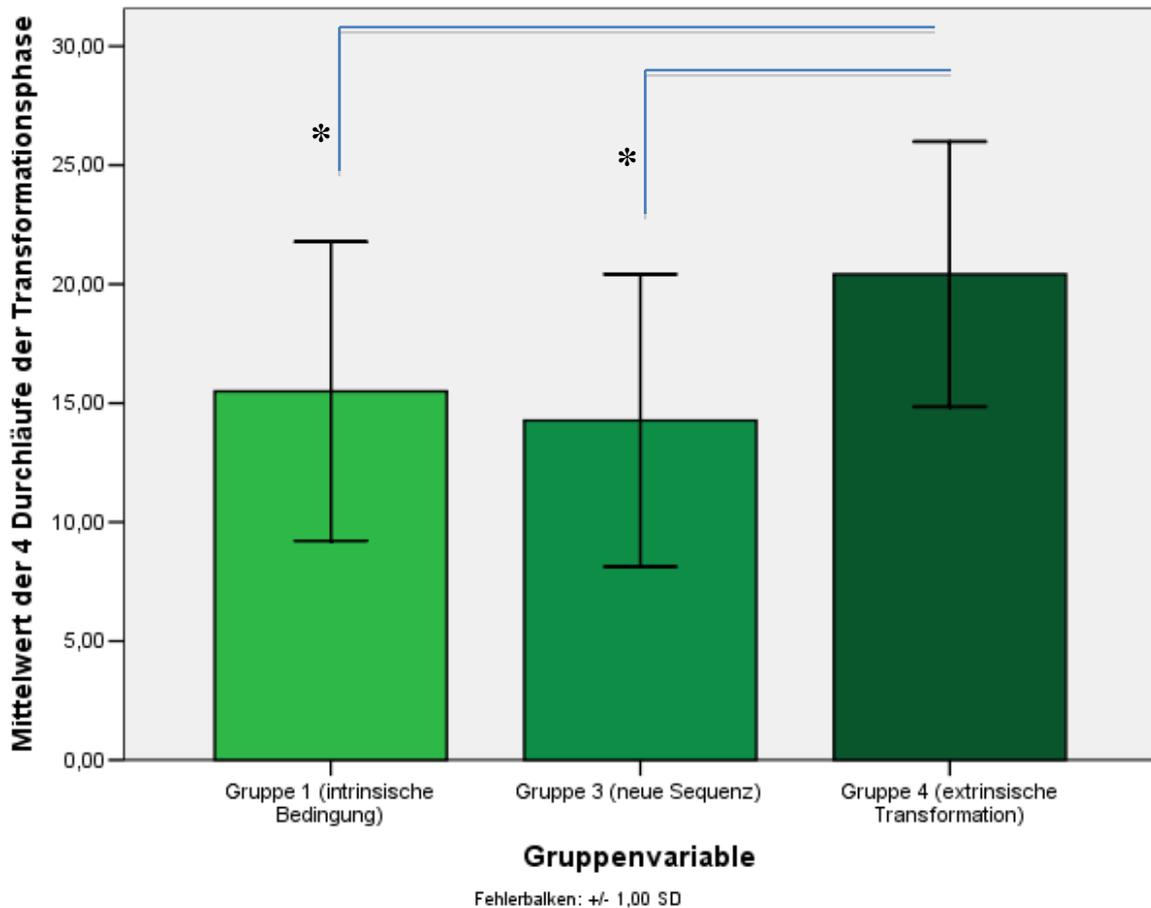
Um auszuschließen, dass die Tageszeit, zu der das Training stattfand, einen Einfluss auf den Verlauf der Lernkurve hatte, kam eine ANOVA mit dem Messwertwiederholungsfaktor Geschwindigkeit zum Einsatz. Diese ergab, dass die Unterschiede zwischen den Probanden, die um 8 Uhr das Training absolvierten und denjenigen, die um 20 Uhr trainierten, weder für den Faktor Gruppe ( $F=0,21$ ,  $p=0,65$ ) noch für die Interaktion Geschwindigkeit x Gruppe ( $F=0,55$ ,  $p=0,90$ ) signifikant waren.

### 3.3 Analyse der Transformationsphase in Hinblick auf Transferbedingung und -richtung

Transferleistungen von der nicht-dominanten Hand auf die dominante Hand: Die Rolle von intrinsischer und extrinsischer Transformation:

In der Transformationsphase der Gruppen 1 bis 4 aus Block A wurde die direkte Transferleistung von der nicht-dominanten linken Hand [NDH] auf die dominante rechte Hand [DH] untersucht. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Vorteil für die extrinsische Transformation gegenüber der intrinsischen und der neuen Sequenz, während sich zwischen intrinsischer und neuer Sequenz kein signifikanter Vorteil zeigte (siehe Abbildung 7).

Mittels eines t-Tests für unabhängige Stichproben konnten Unterschiede in den Mittelwerten der Geschwindigkeit aller vier Durchläufe sowohl zwischen der extrinsischen und intrinsischen Transformationsbedingung ( $t=2,03$ ,  $p=0,05$ ) als auch der extrinsischen Bedingung und einer neuen Sequenz ( $t=2,6$ ,  $p=0,02$ ) herausgestellt werden (Abb.7).



**Abb.7: Mittelwerte der vier Durchläufe der Transformationsphase für die Gruppen 1 (intrinsische Transformation), 3 (neue Sequenz) und 4 (extrinsische Transformation)**  
 (\* signifikante Unterschiede,  $p < 0,05$ )

Eine ANOVA mit dem Messwertwiederholungsfaktor „Anzahl richtiger Sequenzen“ im direkten Vergleich des Verlaufs der vier Transformations-Durchläufe der Gruppen 1 (intrinsische Transformation) und 4 (extrinsische Transformation) ergab signifikante Unterschiede für den Faktor Anzahl richtiger Sequenzen ( $F=9,08$ ,  $p < 0,001$ ) und den Faktor Gruppe ( $F=4,12$ ,  $p=0,05$ ), nicht jedoch für die Interaktion Geschwindigkeit x Gruppe ( $F=1,5$ ,

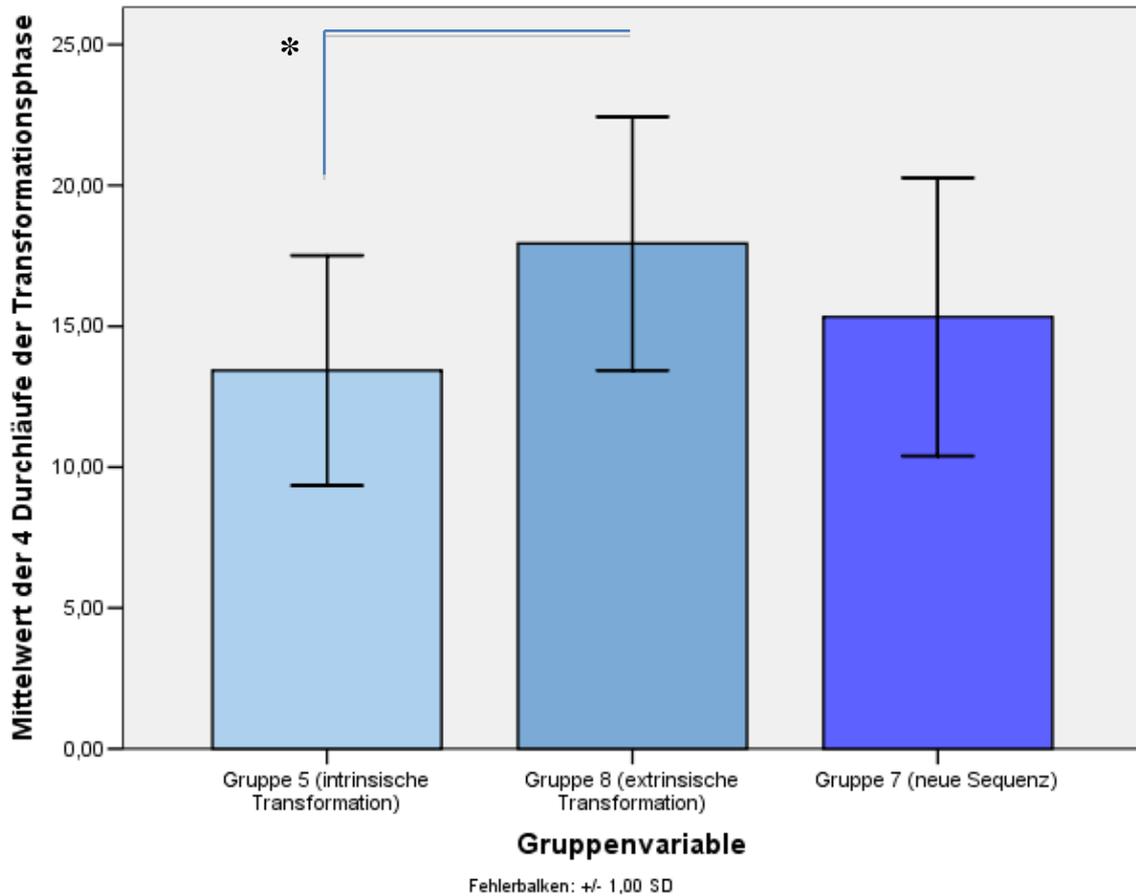
$p=0,22$ ). Unter der extrinsischen Bedingung wurden signifikant höhere Anzahl richtiger Sequenzen erreicht. Die Analyse der Tastenanschläge (TA) erbrachte signifikante Unterschiede für den Faktor Lernen ( $F=18,71$ ,  $p<0,001$ ), den Faktor Gruppe ( $F=5,34$ ,  $p=0,03$ ) und die Interaktion TA x Gruppe ( $F=5,33$ ,  $p=0,03$ ).

Die besondere Relevanz des ersten Durchlaufs der Transformationsphase wurde in einer Einzelanalyse mittels einer einfaktoriellen ANOVA berücksichtigt. Hierdurch konnte die direkte Transferleistung ohne Beeinflussung durch additive Trainingseffekte in den Trials 2 bis 4 der Transformationsphase beurteilt werden. Die Ergebnisse ergaben signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen (extrinsisch und intrinsische Transformation) für die Anzahl der richtigen Sequenzen ( $F=6,44$ ,  $p=0,02$ ) und die Anzahl der Tastenschläge ( $F=9,52$ ,  $F=0,01$ ).

Zusammenfassend findet sich somit ein Vorteil bei der extrinsischen Transformation von der nicht-dominanten auf die dominante Hand gegenüber der intrinsischen Transformation. Im Vergleich gemittelter Werte ist das Ergebnis zwar knapp nicht signifikant ( $p = 0.05$ ), jedoch zeigt sich beim ersten Durchlauf schon eine signifikant besserer Leistung für die extrinsische Transformation und auch bei Analyse der TA ist diese Bedingung im Vorteil. Diese ist umso plausibler, da auch die neue Sequenz, die mit der Lernsituation zuvor keine Verbindung hat, eine schlechtere Performance zeigt, sich die intrinsische Transformation also nicht gegen die neue Sequenz seitens der Performanceleistung abhebt.

#### Transferleistungen von der dominanten Hand auf die nicht-dominante Hand: Die Rolle von intrinsischer und extrinsischer Transformation:

Die entgegengesetzte Transferrichtung von der dominanten rechten Hand [DH] auf die nicht-dominante linke Hand [NDH] wurde in der Transformationsphase der Gruppen 5 bis 8 aus Block B beobachtet. Ein t-Test für unabhängige Stichproben mit Analyse der Mittelwerte der Geschwindigkeit aller vier Durchläufe ergab im Gegensatz zur gegensätzlichen Transferrichtung nur signifikante Unterschiede zwischen der extrinsischen und intrinsischen Transformationsbedingung ( $F=0,09$ ,  $p=0,02$ ), nicht aber zwischen der extrinsischen Bedingung und einer neuen Sequenz ( $F=0,6$ ,  $p=0,2$ ) (Abb.8).



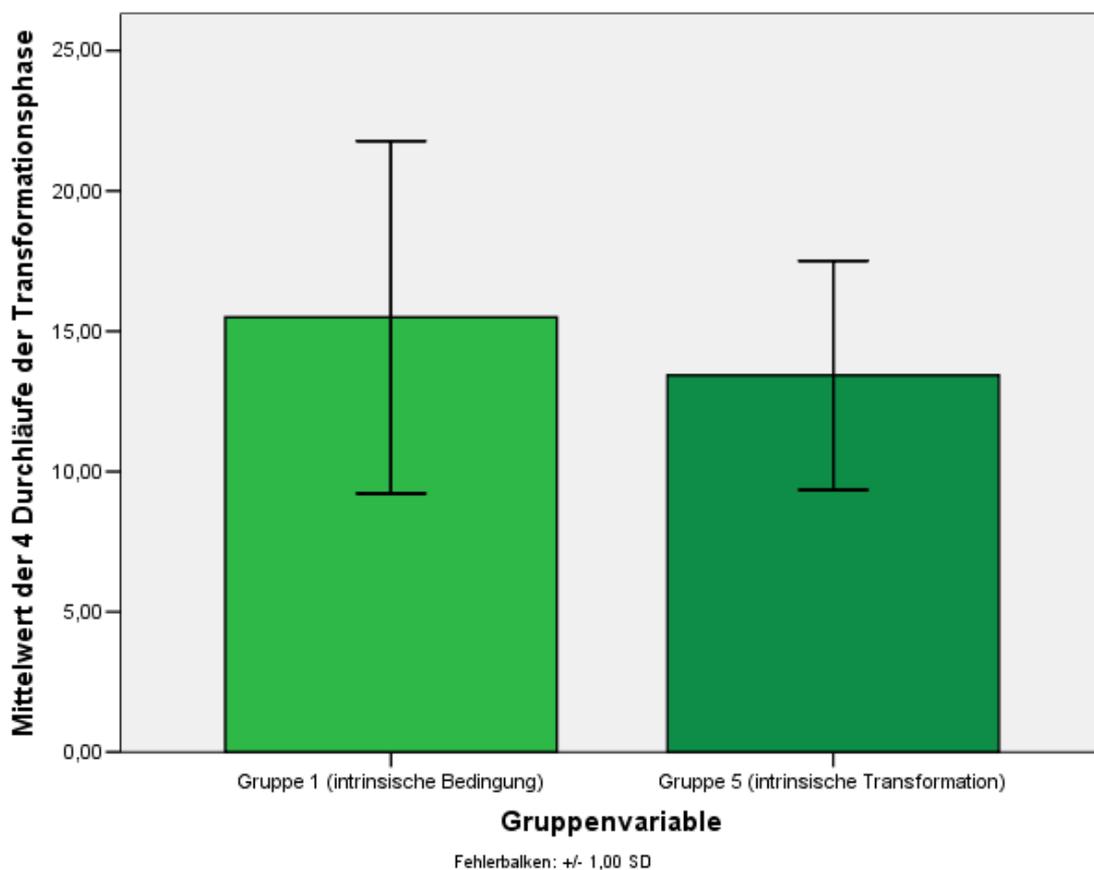
**Abb.8: Mittelwerte der vier Durchläufe der Transformationsphase für die Gruppen 5 (intrinsische Transformation), 7 (neue Sequenz) und 8 (extrinsische Transformation) (signifikante Unterschiede;  $p < 0,05$ )**

Der Verlauf der vier Durchläufe der Transformationsphase im direkten Vergleich der Gruppen 5 (intrinsische Bedingung) und 8 (extrinsische Bedingung) erwies sich in einer ANOVA mit den Messwertwiederholungsfaktoren Anzahl richtiger Sequenzen und Tastenanschläge als signifikant für den Faktor Lernen (Geschwindigkeit:  $F=10$ ,  $p < 0,001$ , TA:  $F=17,86$ ,  $p < 0,001$ ), die Interaktionen Faktor x Gruppe (Geschwindigkeit:  $F=3,28$ ,  $p=0,03$ , TA  $F=5,16$ ,  $p < 0,001$ ) und den Zwischensubjektfaktor Gruppe (Geschwindigkeit:  $F=6,28$ ,  $p=0,02$ ; TA  $F=6,33$ ,  $p=0,02$ ). Probanden tippten unter der intrinsischen Bedingung im Mittel 13,43 Sequenzen/ 30 Sekunden (SD 4,08), unter der extrinsischen Bedingung 17,94 Sequenzen/ 30 Sekunden (SD 4,5). Im Gegensatz dazu verringerte sich die Anzahl der Fehler nicht signifikant ( $F=0,54$ ,  $p=0,66$ ) und unterschied sich nicht signifikant in den einzelnen Gruppen

( $F=0,9$ ,  $p=0,35$ ). Hochsignifikante Unterschiede in den Gruppen ergab die einfaktorielle ANOVA für Lauf 1 der Transformationsphase in Bezug auf die Anzahl der richtigen Sequenzen ( $F=12,89$ ,  $p=0,002$ ) und die Tastenanschläge ( $F=12,91$ ,  $p=0,002$ ) zwischen den beiden Gruppen zugunsten der extrinsischen Transformation.

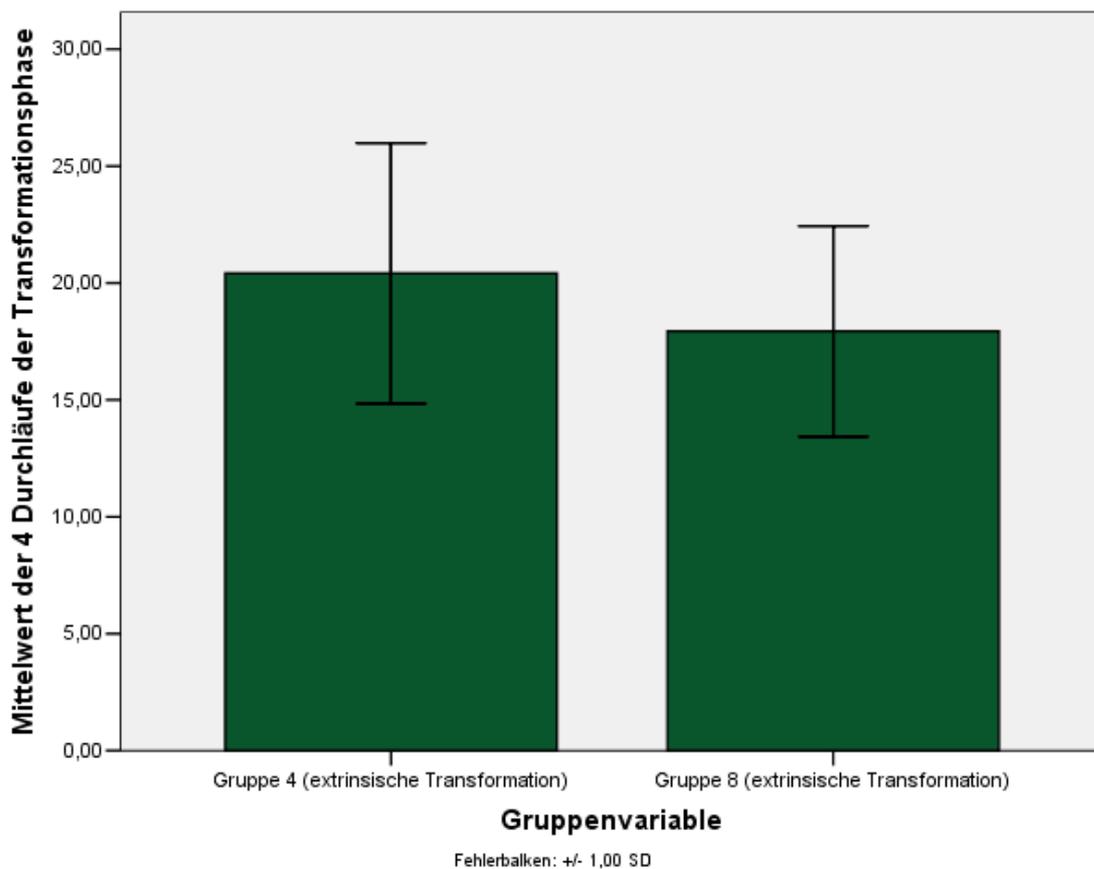
### Analyse zur Transferrichtung

In einem nächsten Schritt wurde ein möglicher Effekt der Transferrichtung in unmittelbarer Gegenüberstellung der Anzahl der richtigen Sequenzen in der Transformationsphase unter der intrinsischen Bedingung analysiert (Abb.9). Hier trat keine signifikante Differenz der mittleren Anzahl der richtigen Sequenzen zwischen der Transferrichtung von der linken nicht-dominanten Hand auf die rechte dominante Hand (Gruppe 1) und der entgegengesetzten Transferrichtung (Gruppe 5) auf (t-Test für unabhängige Stichproben,  $F=1,24$ ,  $p=0,37$ ).



**Abb.9: Mittelwerte der Anzahl der richtigen Sequenzen über vier Durchläufe der Transformationsphase unter der intrinsischen Bedingung im Vergleich der Transferrichtung: NDH  $\Rightarrow$  DH (Gruppe1), DH  $\Rightarrow$  NDH (Gruppe 5)**

Derselbe Ansatz mit Einsatz des t-Tests für unabhängige Stichproben wurde unter der extrinsischen Transformationsbedingung angewandt (Abb.10). Auch hier fand sich kein signifikanter Unterschied der mittleren Geschwindigkeiten zwischen der Transferrichtung von der linken nicht-dominanten Hand auf die rechte dominante Hand (Gruppe 4) und umgekehrt (Gruppe 8) ( $F=0,56$ ,  $p=0,24$ ).



**Abb.10: Mittelwerte der Anzahl der richtigen Sequenzen über vier Durchläufe der Transformationsphase unter der extrinsischen Bedingung im Vergleich der Transferrichtung: NDH  $\Rightarrow$  DH (Gruppe 4), DH  $\Rightarrow$  NDH (Gruppe 8)**

Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass nur die extrinsisch transformierte Sequenz sowohl von der dominanten als auch von der nicht-dominanten Hand auf die kontralaterale Hand übertragbar ist.

### 3.4 Analyse der Abrufleistung in Hinblick auf Transformationsbedingung und Transferrichtung

Zunächst erfolgte die Untersuchung der Abrufleistung für die Transferrichtung bei der nach dem linkshändigen Training die Transformationsphase mit der rechten Hand absolviert worden war, folglich der Abruf mit der linken nicht-dominanten Hand stattfand. In der Abrufphase stellte sich zwischen der Gruppe 1, die zuvor die intrinsisch transformierte Sequenz und Gruppe 4, die die extrinsische Sequenz absolviert hatte, kein signifikanter Unterschied in der Geschwindigkeit heraus (t-Test mit unabhängigen Stichproben,  $F=0,001$ ,  $p=0,16$ ). Ebenso bestand in derselben Analyse kein Unterschied zwischen Gruppe 4 (extrinsische Bedingung) und Gruppe 2 (neue Sequenz) ( $F=0,001$ ,  $p=0,16$ ) (Abb.11).

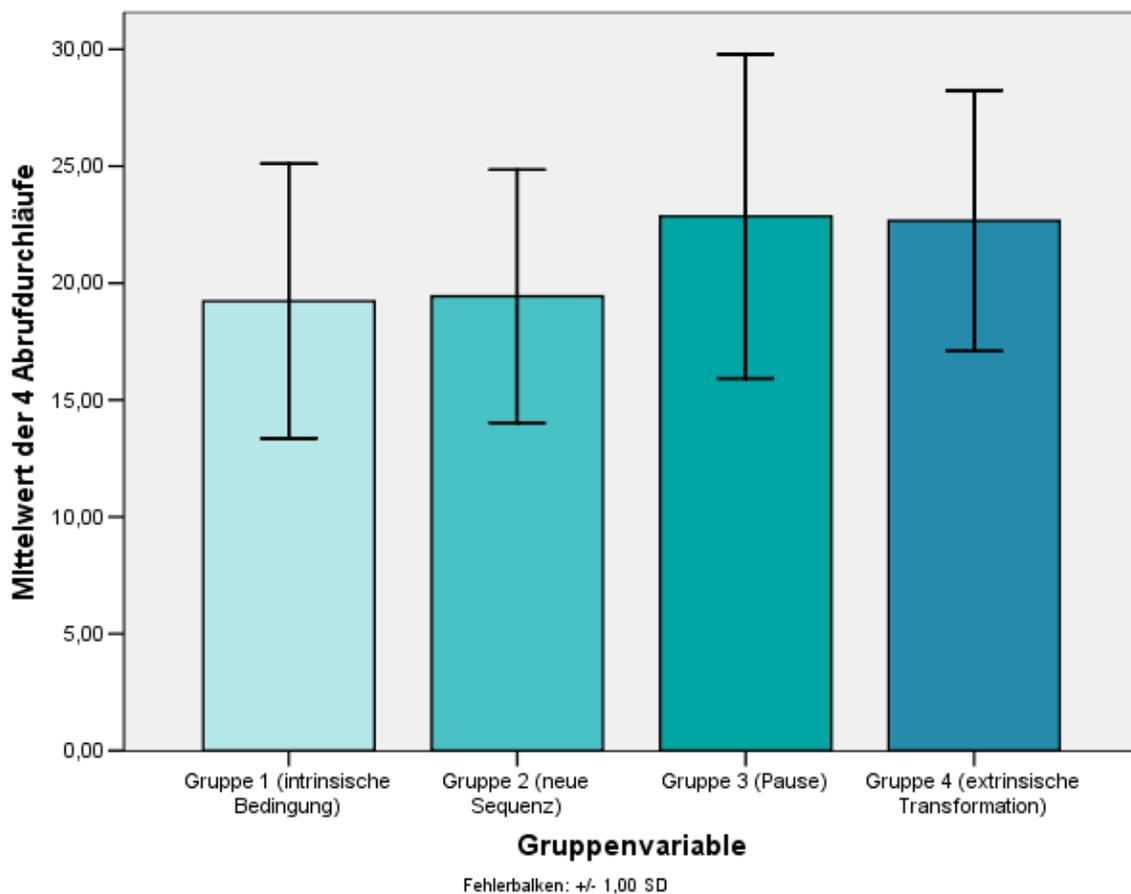
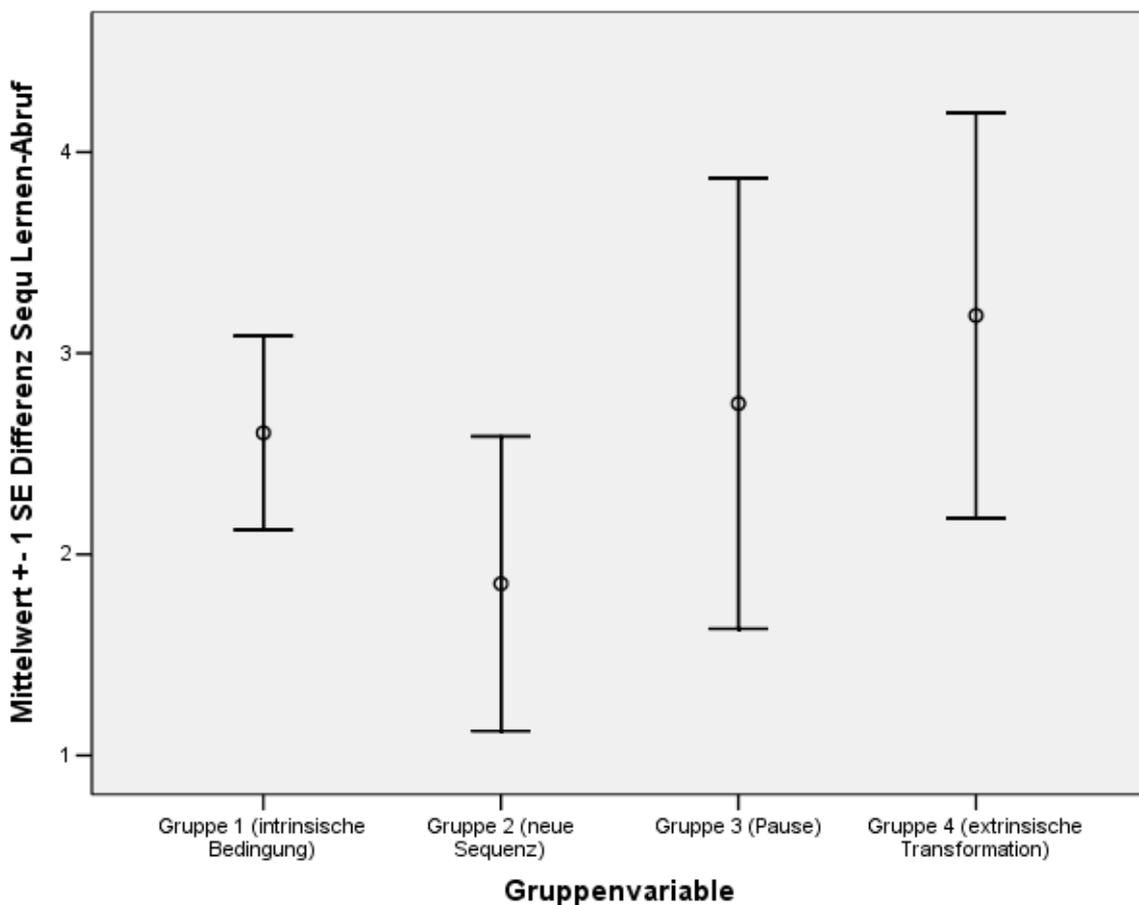


Abb. 11: Mittelwerte der Anzahl der richtigen Sequenzen über vier Durchläufe des Abrufs für Gruppen 1 bis 4 des Blocks A

Auch in einer ANOVA mit Messwertwiederholung stellte sich kein Unterschied für die Geschwindigkeit im Verlauf der vier Abrufdurchgänge zwischen den vier Gruppen heraus

( $F=1,32$ ,  $p=0,28$ ).

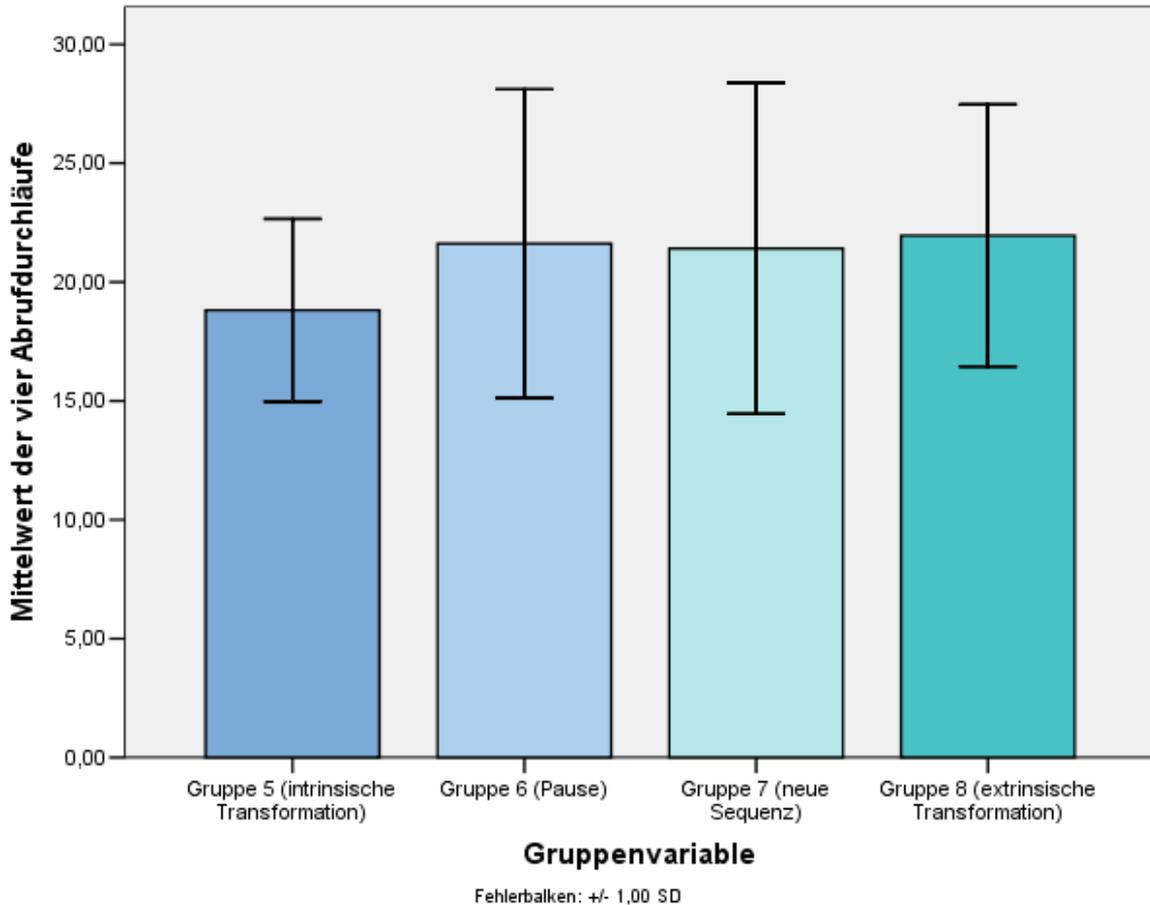
Die Auswertung der Steigerung der korrekt getippten Sequenzen mittels der Differenz der Mittelwerte von Lauf 1 bis 4 der Abrufphase (A4) und Lauf 12 bis 15 des Trainings (L4) (Abb. 12) ergab eine Oneway ANOVA keine signifikanten Unterschiede für die Mittelwerte L4 ( $F=1,09$ ,  $p=0,36$ ), A4 ( $F=1,32$ ,  $p=0,28$ ) und Differenz A4-L4 ( $F=0,41$ ,  $p=0,75$ ) im Vergleich aller vier Gruppen. Dieses Ergebnis zeigt, dass keine der Bedingungen der Transformationsphase einen signifikant positiven Effekt auf die Abrufleistung hat.



**Abb. 12: Mittelwerte der Differenzen der mittleren Geschwindigkeit zum Ende der Trainingsphase und Abrufphase. Es wurde die Differenz der Mittelwerte der Abrufläufe und der Trainingsläufe 12 bis 15 separat für die vier Gruppen von Block A berechnet und gegenübergestellt**

Die entgegengesetzte Transferrichtung (Block B), bei der nach dem rechtshändigen Training die Transformationsphase mit der linken Hand absolviert worden war und der Abruf mit der rechten dominanten Hand stattfand, wurde ebenfalls mittels t-Test für unabhängige Stichproben analysiert. Auch hier ergab sich weder im Vergleich der Gruppen 5 (intrinsisch) und 8 (extrinsisch) ( $F=1,89$ ,  $p=0,13$ ) noch im Vergleich der Gruppen 8 (extrinsisch) und 6 (neue Sequenz) ( $F=0,69$ ,  $p=0,84$ ) ein signifikanter Unterschied in der Geschwindigkeit der

Abrufleistung. Mittels einer ANOVA mit Messwertwiederholungsfaktor Geschwindigkeit der vier Durchläufe wurde noch einmal ein fehlender signifikanter Effekt der für den Zwischensubjektfaktor Gruppe herausgestellt ( $F=0,68$ ,  $p=0,57$ ) (Abb. 13).



**Abb.13: Mittelwerte der vier Durchläufe des Abrufs für Gruppen 5 bis 8 des Blocks B**

Im Vergleich des Lerneffektes ergab eine Oneway ANOVA nichtsignifikante Unterschiede für die Mittelwerte L4 ( $F=0,784$ ,  $p=0,465$ ), A4 ( $F=1,13$ ,  $p=0,33$ ) und den Mittelwert der Differenz von Abruf und Lernen ( $A4 - L4$ ) ( $F=0,37$ ,  $p=0,69$ ) (Abbildung 14).

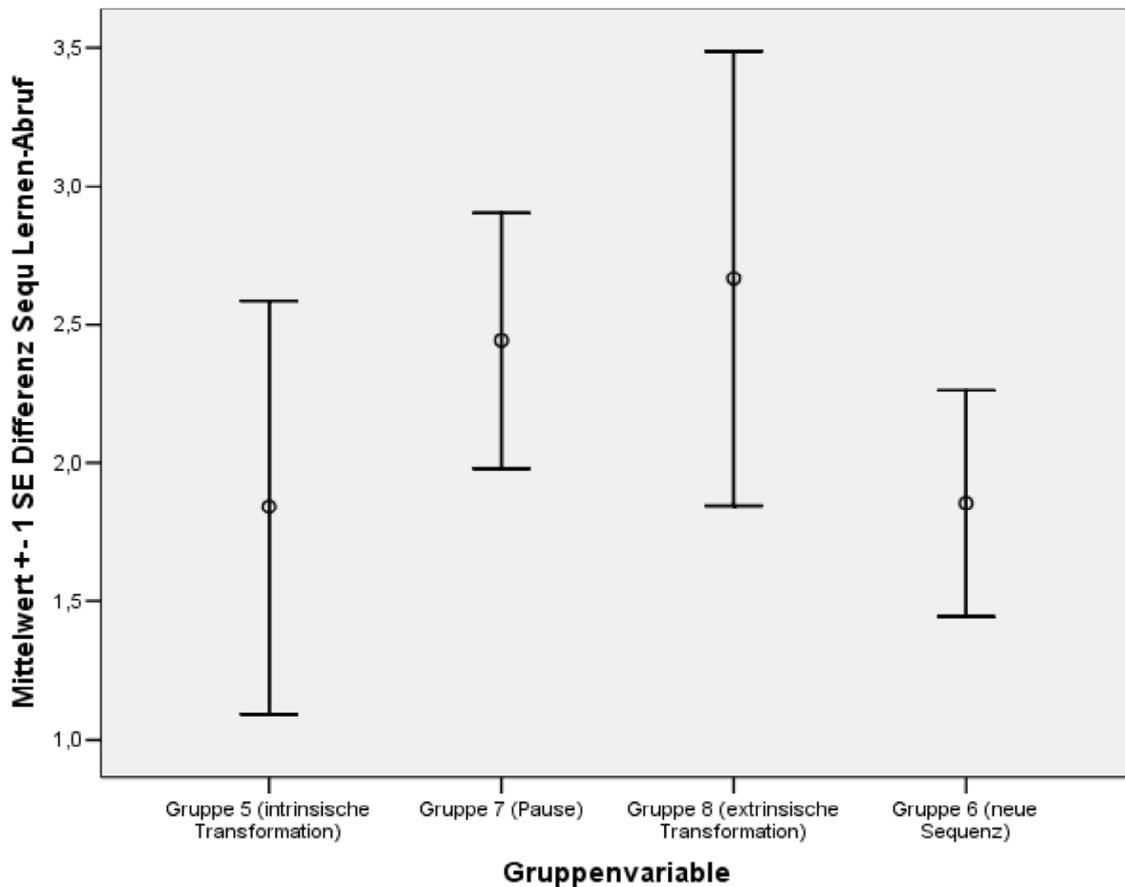
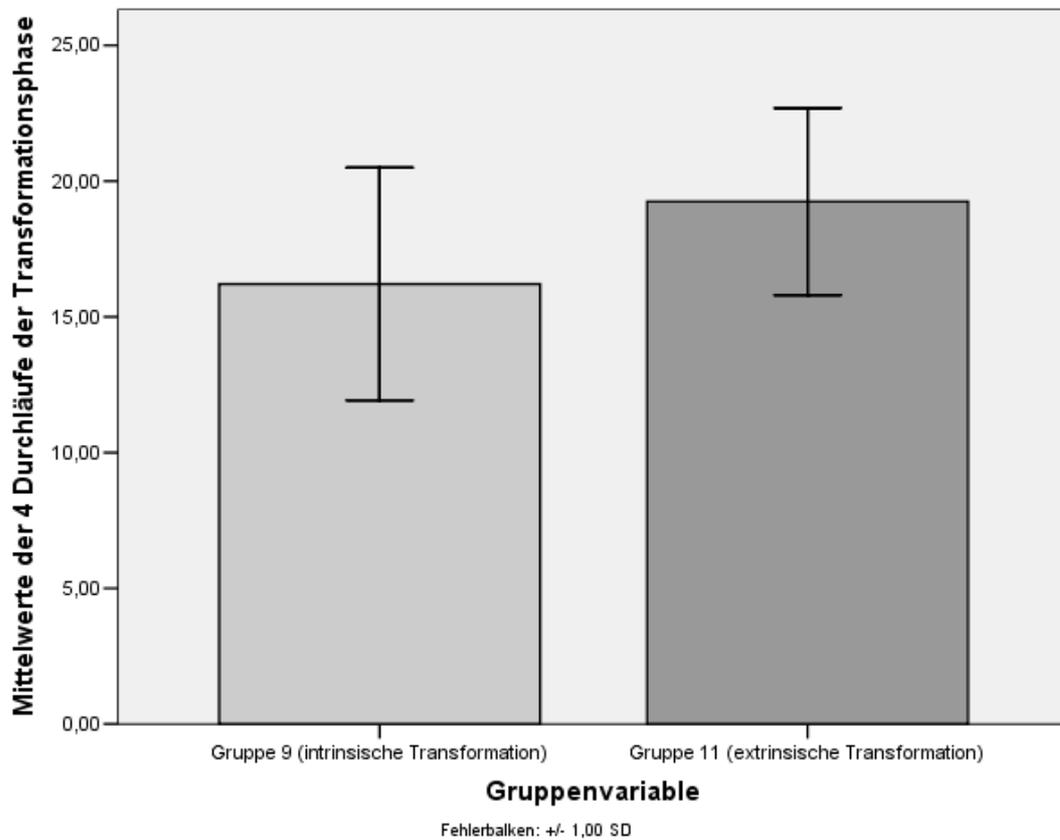


Abb.14: Mittelwerte der Differenzen der mittleren Geschwindigkeit in Abrufphase und zum Ende der Trainingsphase. Es wurde die Differenz der Mittelwerte der Abrufläufe und der Trainingsläufe 12 bis 15 separat für die vier Gruppen von Block B berechnet und gegenübergestellt

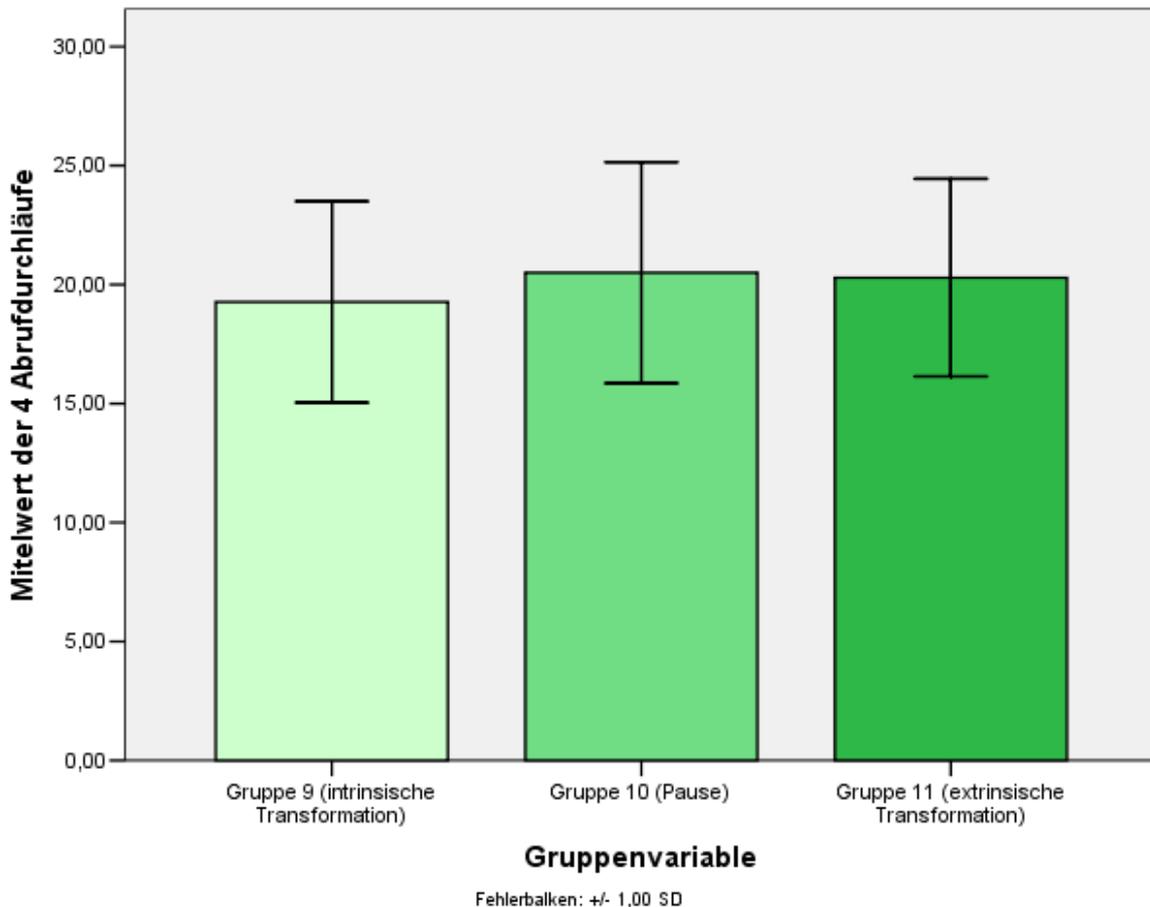
### 3.5 Analyse der Transformations- und Abrufphase in den Tagesgruppen mit freiem Zeitintervall

Die Auswertung der Transformationsphase von Block C mit freiem Zeitintervall zwischen Training und Transformationsphase erfolgte wie in den anderen Blöcken mittels t-Test für unabhängige Stichproben (Abb.15). Im Gegensatz zu Block A, bei dem in gleicher Transferrichtung (NDH → DH) die Transformationsphase direkt auf das Training folgte, zeigte Block C keine signifikanten Unterschiede sondern nur einen Trend für eine bessere Performance der Gruppe 11 mit extrinsischer Transformation ( $F=1,8$ ,  $p=0,07$ ) im Vergleich zu Gruppe 9 unter intrinsischer Bedingung.



**Abb.15: : Mittelwerte der vier Durchläufe der Transformationsphase für die Gruppen 9 (intrinsische Transformation) und 11 (extrinsische Transformation)**

Eine ANOVA mit Messwertwiederholungsfaktor erbrachte Signifikanz für den Faktor Lernen in Geschwindigkeit ( $F=15,53$ ,  $p<0,001$ ) und Anzahl der Tastenanschläge ( $F=31,27$ ,  $p<0,001$ ), nicht jedoch für die Anzahl der Fehler ( $F=2,57$ ,  $p=0,06$ ), ebenso bei keinem der Faktoren Signifikanz für die Interaktion Faktor x Gruppe oder den Zwischenfaktor Gruppe. Nach einem freien Zeitintervall von 12 Stunden während des Tages war in der Transformationsphase somit ein positiver Trend für die extrinsische Bedingung nachweisbar, welcher im Gegensatz zur Transformation unmittelbar nach dem Lernen aber kein Signifikanzniveau erreichte.



**Abb.16: Mittelwerte der vier Durchläufe des Abrufs für Gruppen 9 bis 11 des Blocks C**

Lauf 1 der Transformationsphase ergab wie bereits in den vorherigen Blöcken stark signifikante Gruppenunterschiede für den Faktor Lernen in Geschwindigkeit ( $F=6,1$ ,  $p=0,02$ ) und Tastenanschläge ( $F=4,66$ ,  $p=0,04$ ). Dies zeigt einen Vorteil für Lauf 1 unter der extrinsischen Bedingung als Maß der direkten Transferleistung ohne additiven Trainingseffekt im Rahmen eines Lernprozesses, der während der Transformationsphase nicht aufrechterhalten wurde.

In der Abrufleistung, die wie die Transformationsphase um 20 Uhr jedoch mit der linken nicht-dominanten Trainingshand stattfand stellte sich zwischen der Gruppe 9, die zuvor die intrinsisch transformierte Sequenz und Gruppe 11, die extrinsische Sequenz absolviert hatte, wie bereits in den Blöcken A und B gezeigt, kein signifikanter Unterschied in der Geschwindigkeit heraus (t-Test mit unabhängigen Stichproben,  $F<0,01$ ,  $p=0,56$ ). Ebenso bestand in derselben Analyse kein Unterschied zwischen Gruppe 11 (extrinsisch) und Gruppe 10 (Pause) ( $F<0,01$ ,  $p=0,91$ ) (siehe Abbildung 16).

Die Mittelwertanalyse mittels einer Oneway Anova zeigte auch in den Gruppen 9 bis 11

keine signifikanten Unterschiede (L4 ( $F=0,45$ ,  $p=0,65$ ; A4:  $F=0,28$ ,  $p=0,76$ ; Differenz Abruf – Lernen (A4 - L4)  $F=0,86$ ,  $p=0,43$ ) (siehe Abb. 17).

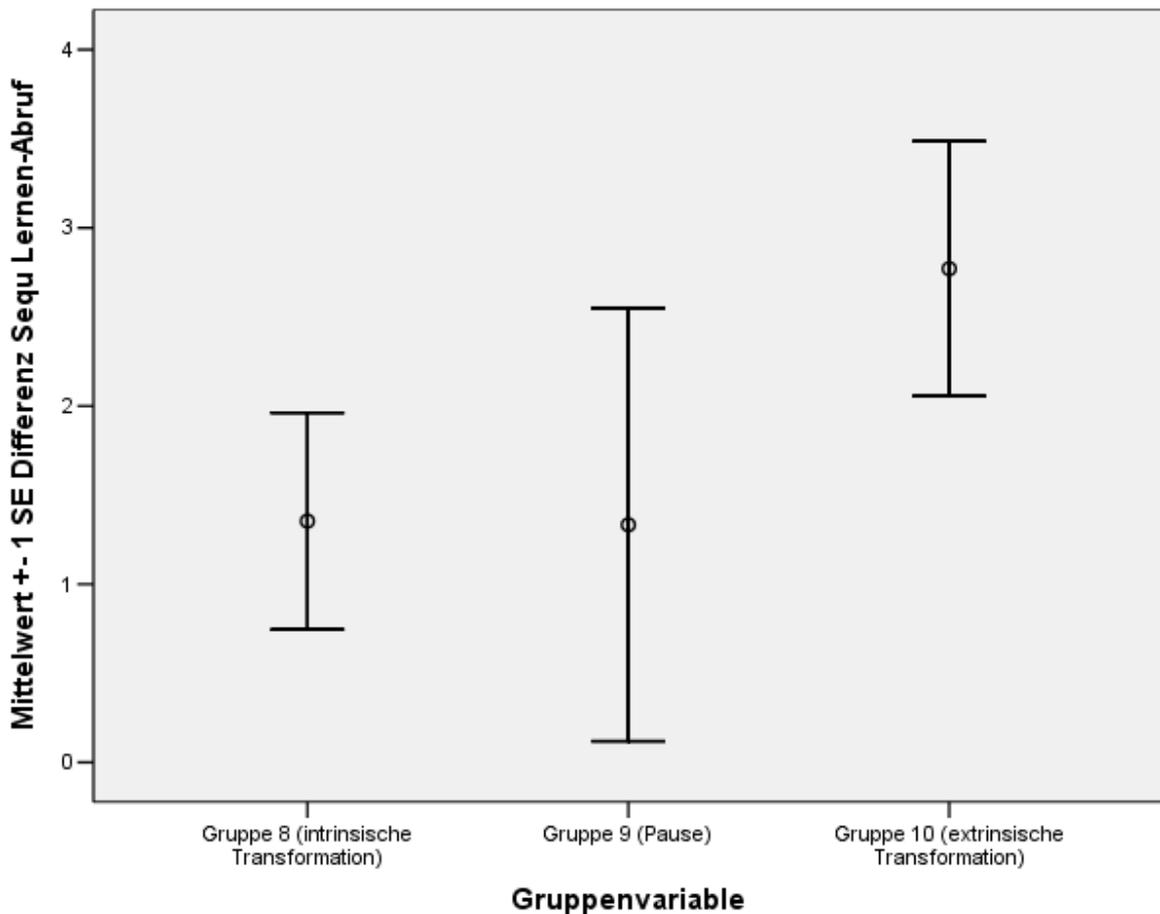
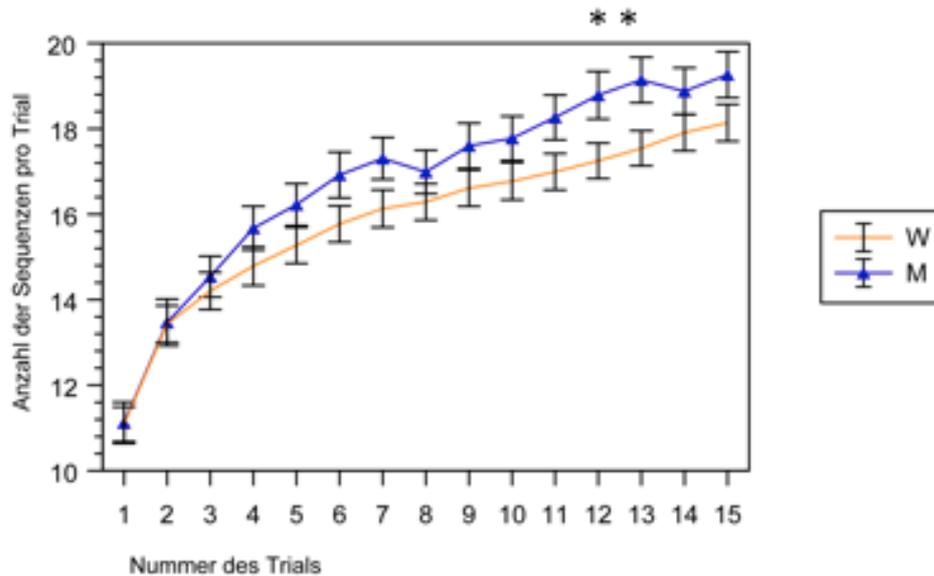


Abb 17: Mittelwerte der Differenzen der mittleren Geschwindigkeit zum Ende der Trainingsphase und Abrufphase. Gegenüberstellung der Differenz der Mittelwerte der letzten vier Trainingsläufe und der Abrüfläufe separat für die vier Gruppen des Blockes C

### 3.6 Teil 2 der Studie: Die Performance im Vergleich der Geschlechter

Im direkten Vergleich konnte in einer ANOVA mit dem Messwertwiederholungsfaktor Geschwindigkeit in der Trainingsphase bei beiden Geschlechtern ein signifikanter Geschwindigkeitszuwachs ( $F=203,92$ ,  $p<0,01$ ), sowie signifikant stärkere Geschwindigkeitssteigerungen innerhalb des Trainings für die männlichen Probanden ( $F=2,58$ ,  $p<0,01$ ) beobachtet werden (Abb. 18). Keine signifikanten Differenzen waren in Bezug auf den Zwischengruppenfaktor Geschlecht ( $F=2,29$ ,  $p=0,132$ ) zu vermerken. Bei Gegenüberstellung der Anzahl der Tastenanschläge waren neben einem signifikanten Zuwachs im Verlauf des Trainings ( $F=330,38$ ,  $p<0,01$ ) auch die Interaktion von

Tastenanschlägen x Geschlecht signifikant ( $F=5,23$ ,  $p<0,01$ ). Jedoch bestand kein signifikanter Unterschied für den Faktor Geschlecht im Zwischengruppentest ( $F=2,88$ ,  $p=0,09$ ).



**Abb. 18.: Steigerung der Geschwindigkeit über die 15 Trainings-Trials für das weibliche bzw. männliche Geschlecht (Mittelwerte der Anzahl der Sequenzen mit Standardabweichungen)**

Die Auswertung der Fehlerreduktion ergab in Bezug auf den Faktor Geschlecht ( $F=0,03$ ,  $p=0,87$ ) und für die Interaktion Fehler x Geschlecht nicht signifikante Ergebnisse ( $F=1,05$ ,  $p=0,4$ ).

In t-Tests für unabhängige Stichproben wurden die gemittelten Geschwindigkeiten der beiden Geschlechter für jeden der 15 Durchgänge im direkten Vergleich gegenübergestellt. Hierbei stellten sich nur Lauf 12 ( $F=0,49$ ,  $p=0,03$ ) und Lauf 13 ( $F=0,36$ ,  $p=0,02$ ) als signifikant unterschiedlich heraus (im Abbildung 15 mit \* gekennzeichnet).

Ein direkter Vergleich der Geschwindigkeit zwischen den Gruppen mit einem hohen Männeranteil (Gruppe 2, 3 und 11) und den übrigen Gruppen ergab keine signifikanten Unterschiede ( $F=0,06$ ,  $p=0,81$ ) und somit keinen Effekt der Geschlechtsverteilung in den Gruppen auf die Trainingsperformance.

### 3.7 Vergleich der Aktiviertheit und Schlafqualität der Probanden

#### 3.7.1 Quantifizierung der Aktiviertheit mittels SSS und EWL

Um einen Einfluss möglicher Vigilanzabweichungen zwischen den Gruppen auszuschließen kam die Stanford Sleepiness Scale zum Einsatz. Der Kruskal-Wallis- H-Test zeigt keine signifikanten Unterschiede zum Zeitpunkt des Lernens zwischen den drei Blöcken ( $\chi^2$ -Wert = 3,1 ,  $p = 0,21$ ). Ein zweiter SSS Score wurde nur in Block C erhoben, hier fanden sich zum Zeitpunkt des Abrufs keine Unterschiede im Aktiviertheitsgrad zwischen den einzelnen drei Gruppen ( $\chi^2$ -Wert= 0,57,  $p = 0,75$  ). Ein Scorewert von 1 repräsentiert den maximalen Wachheitszustand, der Wert von 7 die letzte Vigilanzstufe vor dem Schlafzustand (Tab. 4).

**Tab. 4: Mittlere Scorewerte der Stanford Sleepiness Scale in den einzelnen Gruppen**

	GR. 1	GR. 2	GR. 3	GR. 4	GR. 5	GR. 6	GR. 7	GR. 8	GR. 9	GR. 10	GR. 11
SSS Training	2,58	2,00	1,92	2,58	1,92	1,58	2,27	2,33	2,67	2,00	2,08
SSS Abruf									2,33	2,17	2,00

**Tab. 5: Gemittelte Scorewerte der Eigenschaftswörterliste mit Unterkategorien beim Training**

EWL_N TRAINING SUBSKALA	GR.1	GR.2	GR.3	GR.4	GR.5	GR.6	GR.7	GR.8	GR.9	GR.10	GR.11	STATISTIK
A: Aktiviertheit	0,36	0,56	0,63	0,48	0,63	0,57	0,62	0,59	0,48	0,39	0,51	$p= 0,09$
B: Konzentriertheit	0,54	0,72	0,83	0,64	0,83	0,85	0,81	0,83	0,75	0,47	0,63	$p= 0,003$
C: Desaktiviertheit	0,41	0,15	0,13	0,25	0,17	0,15	0,19	0,24	0,15	0,14	0,27	$p= 0,22$
D: Müdigkeit	0,36	0,3	0,18	0,25	0,25	0,21	0,29	0,19	0,21	0,15	0,17	$p=0,39$
E: Benommenheit	0,19	0,06	0,05	0,08	0,05	0,04	0,11	0,09	0,06	0,07	0,04	$p= 0,20$
I: Gehobene Stimmung	0,32	0,54	0,61	0,48	0,63	0,55	0,61	0,60	0,51	0,40	0,50	$p= 0,10$
J: Erregtheit	0,16	0,13	0,12	0,14	0,05	0,08	0,19	0,10	0,12	0,05	0,15	$p= 0,42$
O: Verträumtheit	0,32	0,22	0,22	0,30	0,33	0,29	0,28	0,31	0,29	0,11	0,39	$p= 0,16$

**Tab. 6: Gemittelte Scorewerte der Eigenschaftswörterliste mit Unterkategorien beim Abruf**

EWL_N ABRUF SUBSKALA	GR. 1	GR. 2	GR. 3	GR. 4	GR. 5	GR. 6	GR. 7	GR. 8	GR. 9	GR. 10	GR. 11	STATISTIK
A: Aktiviertheit									0,46	0,34	0,45	p=0,53
B: Konzentriertheit									0,72	0,50	0,68	p=0,01
C: Desaktiviertheit									0,14	0,13	0,14	p=0,95
D: Müdigkeit									0,26	0,17	0,23	p=0,98
E: Benommenheit									0,07	0,04	0,03	p=0,80
I: Gehobene Stimmung									0,59	0,47	0,52	p=0,64
J: Erregtheit									0,04	0,08	0,05	p=0,60
O: Verträumtheit									0,19	0,03	0,33	p=0,01

In den Tabellen 5 und 6 ist der mittlere Scorewert der Gruppe der Eigenschaftswörterliste für die jeweilige Unterkategorie dargestellt, wobei in den Gruppen 1 bis 8 nur eine EWL aus dem Trainingsdurchlauf vorlag und die Gruppen 9 bis 11 eine weitere EWL zum Zeitpunkt des Abrufs erhielten. Nur die Scorewerte der Unterkategorie Konzentriertheit ergaben signifikante Unterschiede in beiden Testphasen (Lernphase:  $p=0,003$ , Abrufphase  $p=0,01$ ), in der Abrufphase zeigten sich zusätzlich Unterschiede in der Kategorie Verträumtheit ( $p=0,01$ ). In den weiteren Unterkategorien stellten sich keine Unterschiede heraus ( $p<0,05$ ).

### 3.7.2 Beurteilung der Schlafqualität

Auch bei den PSQI-Werten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p=0,26$ , K.-Wallis-H-Test).

**Tab. 7: PSQI**

	GR. 1	GR. 2	GR. 3	GR. 4	GR. 5	GR. 6	GR. 7	GR. 8	GR. 9	GR. 10	GR. 11
PSQI-Score	6,33	4,91	4,42	4,92	4,45	4,00	4,54	3,83	4,91	4,42	5,08

Tabelle 7 stellt die Mittelwerte des Gesamtscores dar, der im PSQI für die jeweilige Gruppe erreicht wurde.

Zusammenfassend ergaben sich somit keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich ihrer Aktivierung, gemessen an der Stanford Sleepiness Scale, und ihrer Schlafqualität, gemessen am PSQI.

## 4 Diskussion

In der Diskussion erfolgt eine Zusammenfassung relevanter Ergebnisse sowie deren Einordnung in die bisherige Studienlage. Dabei werden Aspekte des Studienaufbaus und mögliche Konsequenzen und Limitationen aufgezeigt. Es folgt die genaue Darstellung der möglichen Einflussfaktoren Tageszeit des Trainings, eingesetzte Sequenz, ausführende Hand und Geschlechterverteilung innerhalb der Gruppen. Anschließend werden Transferleistung unter der jeweiligen Transformationsbedingung bei direktem Abruf und Abruf nach einem freien Zeitintervall über Tag, sowie der Effekt auf eine erneute Abrufphase der Trainingshand diskutiert. Abschließend wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick auf mögliche weiterführende Studien dargelegt.

Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1.) Nach dem unimanuellen Training einer sequentiellen Bewegung steigert sich als Folge eines direkten Transfers die Leistung beim Abruf derselben Sequenz mit der kontralateralen Hand (extrinsische Transformation) im Vergleich zu einer neuen Sequenz mit gleichwertigem Schwierigkeitsgrad.
- 2.) Dieser Transfereffekt tritt bei der Performance der zur Trainingssequenz gespiegelten Bewegungsfolge (intrinsische Transformation) nicht auf.
- 3.) Die Transformation erfolgt sowohl von der nicht-dominanten linken Hand ausgehend auf die dominante rechte Hand als auch in umgekehrter Richtung von der dominanten zur nicht-dominanten Hand und scheint somit kein spezifisches Merkmal der Händigkeit zu sein.
- 4.) Der beschriebene Effekt in der Transformationsphase verliert sich über den Tag im Laufe eines freien Zeitintervalls von 12 Stunden. Allerdings findet sich auch hier ein Vorteil im ersten Lauf für die extrinsische Bedingung als Maß der direkten Transferleistung. Dieser Vorteil bleibt während der Transformationsphase nicht bestehen.
- 5.) In keiner Transferrichtung und unter keiner der Bedingungen (extrinsisch bzw. intrinsisch) gelingt ein „Boostern“, d.h. eine Steigerung der Leistung beim daran anschließenden erneuten Abruf der Originalsequenz mit der Trainingshand.
- 6.) Ebenso tritt auch kein distraktiver Effekt durch die Performance der intrinsisch bzw. extrinsisch transformierten oder neuen Sequenz auf.
- 7.) Das männliche Geschlecht zeigte im Training leichte Vorteile beim Lernen der Geschwindigkeit der Performance, nicht aber hinsichtlich der Korrektheit der Bewegungsausführung.

## **4.1 Direkte intermanuelle Transfereffekte**

### **4.1.1 Transformationsleistung in Hinblick auf Transferrichtung**

Bei der Analyse der Transferrichtung von der nicht-dominanten auf die dominante Hand zeigte sich im direkten Anschluss an das Training mit der linken Hand die Transferleistung auf die rechte Hand durch eine im Vergleich mit einer neuen Sequenz verbesserte Performance der Originalsequenz in der extrinsischen Bedingung. Diese hier beobachtete extrinsische Transformation von der nicht-dominanten auf die dominante Hand wurde auch in weiteren Studien aufgezeigt (Boyd and Winstein 2001; Grafton, Hazeltine et al. 2002).

Unter der intrinsischen Bedingung trat verglichen mit einer neuen Sequenz kein Transfereffekt auf die rechte Hand auf. Auch Stoddard et. al beschrieben diesen Benefit der dominanten rechten Hand vom Training mit der linken Hand nur für die Performance der Originalsequenz (Stoddard and Vaid 1996). Weitere Studien zeigten einen geringen positiven Transfereffekt der gespiegelten Version (Grafton, Hazeltine et al.2002; Hicks et al 1982).

Einige Studien wiesen einen allgemein stärkeren Transfer von der nicht-dominanten linken [NDH] auf die dominante rechte Hand [DH] im Vergleich zum entgegengesetzten Transfer (Hicks et al. 1970; Yang et al. 1997) nach. In diesen Studien handelte es sich jedoch um die Übertragung von Motorik im Sinne von Schreibfertigkeiten. Dagegen zeigen andere Studienergebnisse einen fehlenden Transfer von der NDH auf die DH (Criscimagna-Hemminger, Donchin et al. 2003). Im Figure Drawing Test bestand sogar ein negativer Transfer, in Form einer langsameren Performance als die Durchführung ohne vorheriges linkshändiges Training (Thut, Cook et al. 1996). In der vorliegenden Studie konnte keine Präferenz einer Transferrichtung im direkten Vergleich der Geschwindigkeit in der Transformationsphase nachgewiesen werden, dies galt sowohl für die intrinsische als auch die extrinsische Bedingung. Die Analyse mittels des direkten Vergleichs der absoluten Performanceleistung in der Transformationsphase war gerechtfertigt, da bis zum Ende der Trainingsphase kein Unterschied zwischen den Gruppen beobachtet werden konnte, der Ausgangspunkt folglich übereinstimmend war.

Der direkte Transfereffekt von der dominanten rechten auf die nicht-dominante linke Hand unter der extrinsischen Bedingung stand ebenfalls einem fehlenden Transformationsprozess unter der intrinsischen Bedingung gegenüber. Konforme Transfereffekte für die extrinsische Transformation wurden im SRTT nachgewiesen (Kirsch and Hoffmann, 2010). Für dieselbe Transferrichtung zeigten andere Studien ein Profitieren der linken Hand sowohl für die extrinsische als auch die intrinsische Bedingung im Finger-Labyrinth-Test (Stoddard and Vaid 1996). Ein Transfer einer erlernten Bewegung von der dominanten auf die nicht-dominante Hand wurde mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen wie Finger-Tapping-Tasks

(Laszlo 1970) „reaching movements“ (Dizio and Lackner 1995; Criscimagna-Hemminger, Donchin et al. 2003), Figure Drawing Tests (Thut, Cook et al. 1996), Mirror Writing Test (Vaid and Stiles-Davis 1989) und Cent-Slide-Test (Laszlo 2010) bewiesen. Beim Training der dominanten Hand scheint die Repräsentation der Information in der dominanten Hemisphäre ausgebildet zu werden, welche dann auf die rechte und linke Hand abgestimmt wird und so auch die Performance mit der nicht-dominanten Hand beeinflusst (Laszlo 1970). Im Figure Drawing Test zeigte sich hingegen die Dominanz der rechten Hemisphäre für Teilaspekte motorischer Kontrolle, wie die Genauigkeit der Bewegungsausführung. Im Gegensatz zur Geschwindigkeit, für die Dominanz der linken Hemisphäre bestand (Thut, Cook et al. 1996). Dieser Transferunterschied in Bezug auf Geschwindigkeit und Korrektheit der Performance konnte hier für den Finger-Tapping-Task nicht gezeigt werden.

Ebenso bestand - wie bereits erwähnt - auch ohne Differenzierung zwischen den Bedingungen kein genereller Unterschied in der Transferleistung von der nicht-dominanten Hand zur dominanten Hand oder in umgekehrter Richtung. Die Generalisierung scheint folglich nicht von der Dominanz einer Hemisphäre für motorische Fertigkeiten bestimmt. Beim motorischen Lernen wird der linken Hemisphäre die bilaterale Kontrolle zugeschrieben (Halsband 1992). So zeigt während des Transfers von der rechten auf die linke Hand die linke Hemisphäre Dominanz, indiziert durch erhöhte EEG-Aktivität (Lange, Godde et al. 2004). Auch behinderte die transkranielle magnetische Stimulation des rechten prämotorischen Kortex (PMC) und somit eine temporäre Störung der Erregungsüberleitung dieses Hirnareals die Performance mit der linken Hand, die Stimulation des linken PMC behinderte die Performance beider Hände (Schluter, Rushworth et al. 1998). Diese Erkenntnisse bieten zwar eine Erklärung für die Transferleistung von der rechten auf die linke Hand, nicht aber für die entgegengesetzte Transferrichtung.

Die aus Vorstudien dargelegten heterogenen Ergebnisse ließen sich damit erklären, dass die erlernte Bewegung oft im Kontext einer weiteren neuropsychologischen Aufgabe steht: Das Zeichnen zuvor erlernter Figuren hat eine deutlichere räumliche Komponente (Thut, Cook et al. 1996). Hier gibt es Belege für eine Dominanz der nicht-dominanten Hemisphäre, welche möglicherweise Performanzergebnisse beim Transfer verändern und diese Veränderungen dann nicht mehr primär dem motorischen System zuzusprechen sind. Andere Untersuchungen wie z.B. Adaptationsprozesse im Force-field haben eine andere Lerndynamik und spiegeln eher Adaptationsprozesse wieder, welche dann mit dem sequentiellen Lernen – wie es in der vorliegenden Studie untersucht wurde – weniger gemeinsam haben. Andere Lern- und Transferparadigmen nutzen die Fertigkeit des Schreibens (Vaid and Still-Davis 1989), welche eine sehr asymmetrische Vorerfahrung besitzen, wieder andere Studien beziehen sich auf das Lernen im impliziten Kontext (SRTT).

Das gewählte Paradigma weist in diesem Kontext viele Vorteile auf: Es ist kein Adaptationslernen, es ist kein überlerntes Paradigma, die Lernkurven sind hoch-signifikant und die Lernleistung (Geschwindigkeit) zwischen der rechten und linken Hand sind nicht unterschiedlich. Aus diesen Gründen scheint der gewählte motorische Test geeignet differente Transferleistungen aufzeigen zu können.

Der Ausgangspunkt der vorliegenden Studie war folgender: Wenn die postulierte motorische Dominanz der linken Hemisphäre (Halsband et al. 1992) einen Einfluss auf den Transfer hat, so würde gerade in einem Paradigma mit den genannten Voraussetzungen Unterschiede deutlich werden. Nach dem Modell von Halsband et al. müsste eine Bewegung, welche in der dominanten Hand gelernt wird auch besser in dem motorischen Gedächtnis verankert werden, da die linke SMA als wichtige Region für das motorische Lernen und die Transferleistungen angesehen wird (Halsband et al. 2006). Das Ergebnis, dass motorische Lerninhalte, die mit der nicht-dominanten Hand erlernt werden, mit der gleichen Stärke auf die dominante Hand transferiert werden, spricht für den unbehinderten Zugang der nicht-dominanten Hemisphäre auf die motorischen Zentren der dominanten Hemisphäre. Alternativ kann auch die Bildung eines motorischen Programmes in der kontralateralen Hemisphäre postuliert werden, auf die auch die ipsilaterale Hand bei extrinsisch modifizierter Sequenz profitieren kann, zwischen den einzelnen Modellen, wie die Transformation zustande kommt, gibt diese Studie (leider) keinen Aufschluß, da lediglich Verhaltensdaten analysiert werden.

#### **4.1.2 Transformationsleistung in Hinblick auf Transferbedingung (extrinsisch und intrinsische Transformation)**

Der Benefit vom vorausgehenden Training mit der kontralateralen Hand hängt davon ab, ob die gespiegelte oder Originalversion transferiert werden soll, was auf verschiedene Mechanismen und neuronale Substrate für intrinsisches (movement-based) und extrinsisches (spatial-related) Lernen hinweist (Romei, Thut et al. 2009). Allgemein wird angenommen, dass motorische Aufgaben in einem Koordinatensystem kodiert werden (Soechting and Flanders 1989; Criscimagna-Hemminger, Donchin et al. 2003). Dies besteht zum einen aus extrinsischen, objekt-zentrierten Koordinaten, die die Position des Objekts im umgebenden Raum festlegen, sowie intrinsischen, körperbezogenen Koordinaten, die die Orientierung von Körperteilen und Gelenkstellungen zueinander kodieren (Soechting and Flanders 1989). Dabei erfordert die Reproduktion einer trainierten Aufgabe in gespiegelter Orientierung mit der untrainierten Hand eine Modifikation der extrinsischen bei erhaltenen intrinsischen Koordinaten, da die innervierten Muskelgruppen kontralateral dieselben

bleiben. Umgekehrt werden bei der Performance der Originalsequenz nur die intrinsischen Koordinaten modifiziert.

Romei erstellte die Hypothese, dass nur das intrinsische Lernen entscheidend vom primär motorischen Kortex (M1) abhängt, nicht aber das extrinsische Lernen (Romei, Thut et al. 2009). Der zur Transferhand kontralaterale M1 hat fördernde Wirkung auf die Transformation intrinsischer Koordinaten, dem ipsilateralen M1 wird inhibierende Funktion zugeschrieben (Romei et al. 2009). Das bedeutet, dass das Training mit der dominanten rechten Hand zu einer inhibierenden Interaktion der rechten mit der linken Hemisphäre führt, die nur die intrinsische Transferleistung betrifft. In Bezug auf die vorliegende Studie könnte diese Hypothese einen zusätzlichen Ansatzpunkt zur Untersuchung der Ursache der beobachteten stärkeren Generalisierung unter der extrinsischen im Vergleich mit der intrinsischen Bedingung liefern.

Auch wurde gezeigt, dass für die Ausführung unimanueller Bewegungen eine Restriktion der motorischen Output-Aktivität notwendig ist, um die Mitbewegung der kontralateralen Hand zu verhindern (Carson 2005). Spiegelbildliche Mitbewegungen der kontralateralen Hand treten bei Kindern in einem gewissen Maß physiologisch auf und gelten bei Erwachsenen als pathologisch, da sie in Verbindung mit verschiedenen Erkrankungen des ZNS (wie dem Morbus Parkinson) auftreten. Bei Rechtshändern wird die dominante rechte Hand bei beabsichtigter Bewegung der nicht-dominanten linken Hand stärker mitbewegt als umgekehrt (Uttner, Mai et al. 2005)

Bei bimanuellen Bewegungen gilt die spiegelbildliche Aktivität der Hände als stabiler im Vergleich zu extrinsisch konfigurierten Parallelbewegungen der Hände (Carson 2005, Swinnen 1997). Allgemein besteht eine starke Tendenz zu Bewegungen, bei denen die oberen Extremitäten systematisch aufeinander zu gezogen werden und sich in spiegelbildlicher Symmetrie zueinander bewegen (Carson 2005). So sind es im alltäglichen Leben gerade die zueinander gespiegelten Bewegungen beider Hände, die natürlicher erscheinen und leichter auszuführen sind. Entsprechend entstand das Verständnis, dass für spiegelbildlich-symmetrische bimanuelle Bewegungen ein koordiniertes Grundverhalten des ZNS erforderlich ist, wohingegen eine asymmetrische parallele bimanuelle Bewegung ein komplexeres Muster neuronaler Aktivität erfordert.

Für die beobachteten Ergebnisse dieser Studie bedeutet dies vermutlich, dass die intrinsische Transformation weniger kortikale Aktivität erfordert, als der extrinsische Transfer und dadurch der geringere Generalisierungseffekt zu erklären sein könnte.

Wie vorangehend aufgezeigt hängt das Generalisierungsmuster stark von der gestellten Aufgabe ab. Die Heterogenität der Aufgabenstellungen in den einzelnen Studien zum

motorischen Lernen führt zu teilweise stark inkongruenten Ergebnissen der Transformationsleistungen.

Von besonderer Bedeutung ist die Unterscheidung zwischen Aufgaben, die entweder in das implizite oder das explizite Lernsystem eingreifen. Einer der am häufigsten eingesetzten Tests bei der Untersuchung motorischen Lernens ist der SRTT, bei dem es sich um eine Testaufgabe handelt, die im Gegensatz zu dem Test in der vorliegenden Studie den Vorgang des impliziten Lernens untersucht.

Gerade für den hier verwendeten Finger-Tapping-Task und das darin untersuchte explizite Lernen gibt die bisherige Studienlage wenig kongruente Studienergebnisse.

#### **4.1.3 Transfereffekte über den Tag**

Die Untersuchung der Transfer- und Konsolidierungsprozesse über Tag bei Übertragung der Leistung von der linken auf die rechte Hand ergab zwar einen Trend, jedoch keinen generellen signifikanten Vorteil in der Transformationsphase der extrinsischen Bedingung für den Faktor Lernen in Geschwindigkeit und Tippfrequenz sowie der Korrektheit der Bewegungsausführung. Allerdings zeigte sich auch hier ein signifikanter Vorteil des ersten Durchlaufs unter der extrinsischen Bedingung als Maß der direkten Konsolidierung, ein genereller signifikanter Lernvorteil lag nicht vor. Die Ursache des Verlusts des Lerneffekts nach einem freien Zeitintervall ohne Schlaf bleibt in dieser Studie ungeklärt. Vermutlich interferieren Tätigkeiten während des Tages mit den Konsolidierungsprozessen. Cohen beschreibt eine Steigerung der intrinsischen Transformation nach einer 12-stündigen Wachheitsphase (Cohen, Pascual-Leone et al. 2005). Press und Brashers-Krug stellten sogar ein für die Generalisierung notwendiges Zeitintervall von mehreren Stunden heraus (Press et al. 2005; Brashers-Krug et al. 1996). Inwiefern diese Überlegung auf den Finger-Tapping-Task übertragbar ist, könnte in einer weiteren Studie untersucht werden, in der die Abruf-Performance einige Stunden (beispielsweise 2, 4 und 6 Stunden) nach dem Training stattfinden würde um so den genauen zeitlichen Zusammenhang herausstellen zu können. Eine weitere Möglichkeit wäre die Durchführung der Abrufphase nach einem freien Zeitintervall in Ruhe ohne alltägliche Tätigkeiten, die interferieren könnten.

#### **4.1.4 Einfluss der Transformation auf die erneute Abrufphase**

In keinem der Blöcke konnte ein Unterschied der Abrufphasen zwischen den verschiedenen Bedingungen aufgezeigt werden. Die Lerneffekte, definiert als Differenz der mittleren Geschwindigkeiten der vier Durchläufe in der Abrufphase und der letzten vier Durchläufe der Trainingsphase, zeigten keine Unterschiede. Die Transferphase auf die kontralaterale Hand

hatte somit keinen positiven oder negativen Effekt auf die anschließende Abrufphase. Diese Beobachtung galt sowohl für die Transferrichtung „Training links – Transfer auf die rechte Hand – Abruf links“ in Block A und C als auch für die Transferrichtung „Training rechts – Transfer auf die linke Hand – Abruf rechts“ in Block B, sowie für intrinsische/ extrinsische Bedingung und neue Sequenz. Auch im direkten Vergleich der mittleren Geschwindigkeit zwischen den Blöcken in der Abrufphase blieb ein Unterschied aus. Somit hatte die Transferrichtung keinen Einfluss auf die Abrufleistung.

Die Ursachen des ausbleibenden zweiten Transfereffektes könnten auch im Studienaufbau zu finden sein. Möglich wäre, dass der Transfer mit ihren vier Durchläufen zu kurz war, um einen Boostereffekt zu erzeugen. Ein Training bestehend aus 15 Läufen bewirkt einen Transfereffekt, dieser tritt jedoch nach einem „Training“ von vier Läufen (in der Transformationsphase) nicht auf. Die Ergebnisse können aber auch dahingehend interpretiert werden, dass nach dem Training schon das Maximum der Lernkurve annähernd erreicht sein könnte (wie in der Einleitung für die Lernphasen beschrieben), sodass eine weitere Lernsteigerung mit derselben Hand zu gering bleibt um das Signifikanzniveau zu erreichen. Die initiale Trainingsphase erreicht dabei ein Performanceplateau im Sinne eines Deckeneffektes und konnte daher nach dem weiteren Performanceleistungen der kontralateralen Hand nicht mehr verbessert werden. Eine weitere Interpretation wäre es, die durchaus stabile Performanceleistung der Trainingshand nach der motorischen Leistung der kontralateralen Hand als Stabilität des motorischen Systems zu interpretieren. So ist jede Hand in der Lage die gelernte Bedingung frei von der „Distraktorbewegung“ der kontralateralen Hand am motorischen Limit auszuführen.

## **4.2 Limitationen der Studie**

### **4.2.1 Testbedingungen und Einschlusskriterien**

Das Studiendesign, die randomisierte Einteilung der Probanden und die definierten Ausschlusskriterien zielten auf möglichst gleiche Voraussetzungen der Probanden zu Untersuchungsbeginn ab. Kritische Aspekte waren hierbei, dass nicht vollständig gesichert werden konnte, dass die Probanden wie vorgegeben in der vorangehenden Nacht die Schlafzeit von 8 Stunden eingehalten und vor Trainingsbeginn weder Alkohol noch Koffein konsumiert hatten. Ebenso konnte nicht kontrolliert werden, ob Probanden des Blockes C in dem freien Zeitintervall von 12 Stunden nicht geschlafen hatten. Hierzu wurden den Probanden in einigen Studien Bewegungsmessuhren angelegt, mit denen eine mögliche Schlafperiode aufgedeckt werden sollte. Trotz dieser fehlenden zusätzlichen Sicherheit ist in

der vorliegenden Studie von keiner Beeinträchtigung der Ergebnisse auszugehen, da eine Randomisierung der Probanden vorlag und somit der Zufall entschied, an welchem Studienblock der Proband teilnahm. Hinsichtlich der Aufmerksamkeitsparameter konnte auch mit Hilfe der Stanford Sleepiness Scale und der Eigenschaftswörterliste Homogenität in Wachheit und Aktiviertheitsgrad aufgezeigt werden. Der Kontrolle ebenfalls entzogen war die Vorgabe der einzuhaltenden Pause zwischen Training und Abruf in den Gruppen ohne Transferleistungen (Gruppen 2, 6, 10). Für diese Pause erfolgte die Instruktion, die zuvor gelernte Bewegungsabfolge weder manuell noch gedanklich zu wiederholen. In diesem Zeitraum wurden die Probanden jedoch weiterhin beobachtet und erhielten zur Überbrückung der Wartezeit die zu beantwortenden Fragebögen.

#### **4.2.2 Einfluss der Tageszeit auf die Performance in der Trainingsphase**

In Übereinstimmung mit vorherigen Studien (Fischer, Hallschmidt et al. 2002; Robertson et al. 2004; Cohen, Pascual-Leone et al. 2005) blieb ein Effekt der Tageszeit des Trainings (8 Uhr oder 20 Uhr) auf die Performance aus. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied für Geschwindigkeit und Anzahl der Fehler innerhalb der 15 Läufe. Da Homogenität im Aktiviertheitsgrad vorlag, ist nicht davon auszugehen, dass die zirkadiane Rhythmik einen relevanten Einfluss auf die Trainingsleistung hatte. Bei der Einzelanalyse der Trainingsphasen konnte in allen drei Untersuchungsblöcken Signifikanz für den Faktor Lernen unter dem Aspekt Geschwindigkeit und Anzahl der Tastenanschläge gefunden werden, nicht aber für die Genauigkeit. Einzige Ausnahme war hier Block B mit den rechtshändig trainierenden Probanden mit zusätzlicher Signifikanz für den Faktor Lernen in der Fehleranzahl. Dieser Unterschied beruht vermutlich am ehesten auf dem Einsatz der rechten Hand im Gegensatz zu den Blöcken A und C, bei denen die linke Hand im Training eingesetzt wurde. Mit der rechten Hand wird während des Trainings neben der Geschwindigkeit auch die Korrektheit der Bewegungsausführung verbessert.

#### **4.2.3 Einfluss der zu absolvierenden Sequenz**

Der im Vergleich der verschiedenen Sequenzen aufgedeckte Unterschied beim Training lässt auf einen differenten Schwierigkeitsgrad der einzelnen Sequenzkombinationen schließen. Dieser Aspekt war zu erwarten, da die Übergänge von der Bewegung einzelner Finger schon aus anatomischer Sicht unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad aufweisen und derselbe Effekt auch in weiteren Studien beobachtet wurde (Gerloff, Corwell et al. 1998; Arunachalam, Weerasinghe et al. 2005). Auch sind Mittel-, Ring- und kleiner Finger meist weniger trainiert als der Zeigefinger (Gerloff, Corwell et al. 1998).

In der vorliegenden Studie waren es die Sequenzen 3 und 4, die im Vergleich mit den Sequenzen 1 und 2 signifikant bessere Leistungen ermöglichten.

Bei Fingertapping-Tasks wird das sogenannte Intertap Interval (ITI) als Maß für die zeitliche Differenz zwischen der Betätigung zwei aufeinanderfolgender Tasten herangezogen. Gemessen an Fingerpaaren zeigt sich das ITI als kürzer von ulnar nach radial verglichen mit der Richtung von radial nach ulnar (Arunachalam, Weerasinghe et al. 2005). Der Übergang vom kleinen Finger zum Ringfinger erwies sich als schnellster, am langsamsten war der Übergang vom Mittel- zum Zeigefinger. Keiner dieser beiden Übergänge tritt jedoch in einer der vier verwendeten Sequenzen auf, so dass dieser Effekt hier nicht vorlag. In dieser Studie sind es konkret die lateralen Tasten 1 und 4, die in den schneller ausgeführten Sequenzen 3 und 4 häufiger vorkommen als die in mittlerer Position befindlichen Tasten 2 und 3.

Ein ausbleibender Effekt auf die Studienergebnisse wurde durch eine homogene Verteilung der Sequenzen in den Gruppen gewährleistet, so dass in jeder Gruppe gleich viele der einfacher und der schwieriger auszuführenden Bewegungsabfolgen auftraten.

#### **4.2.4 Trainings- und Transferleistung im Vergleich der eingesetzten Hand**

Obwohl es sich bei allen Probanden um Rechtshänder handelte, blieb der zu erwartende Vorteil bei der Ausübung der Aufgabe mit der rechten Hand in der Trainingsphase zum Teil aus. Es konnte keine generell höhere Geschwindigkeit und keine stärkere Geschwindigkeitssteigerung derjenigen Probanden beobachtet werden, die das Training mit der rechten Hand absolvierten im Vergleich zu denjenigen, die mit der linken nichtdominanten Hand trainierten. Allein die Genauigkeit der Ausführung zeigte sich im gesamten Training der rechtshändig trainierenden signifikant höher als die der linkshändig trainierenden Probanden. Bei der Reduktion der Fehleranzahl im Verlauf der 15 Trainingsläufe bot das rechtshändige Training jedoch keinen Vorteil, d.h. die rechts- und linkshändig Lernenden verbesserten sich gleichermaßen. Auch bei Betrachtung der Transferphase ergab sich kein Vorteil für die dominante Hand für den Aspekt Geschwindigkeit. Hier war es sogar die Ausführung mit der linken Hand, die tendenziell eine höhere Fertigkeit im Sinne der Genauigkeit zeigte. Die höhere Genauigkeit der Transformationsphase bei Ausführung mit der linken Hand erreichte jedoch kein Signifikanzniveau. Dieser Trend verdeutlicht allerdings, dass die Tatsache, dass die Aufgabe mit der dominanten rechten Hand ausgeführt wurde die Performance der Transformationsphase nicht relevant beeinflusste, da in diesem Fall der umgekehrte Effekt zu erwarten gewesen wäre, die Transformationsphase der linkshändig Lernenden und rechtshändig transferierenden Probanden somit bessere Ergebnisse erbracht hätte.

#### **4.2.5 Einfluss der Geschlechtsverteilung in den Gruppen**

Auch das Geschlecht des Probanden hatte einen geringen Einfluss auf die Performanceleistung, der sich in der stärkeren Steigerung der Geschwindigkeit des Tippens im Verlauf des Trainings widerspiegelte und somit zu einer signifikant höheren Geschwindigkeit zum Trainingsende (Lauf 12 und 13) führte. Es bestand kein Vorteil für das männliche Geschlecht in der Korrektheit der Performance.

Zwar bestand jede der 11 Gruppen sowohl aus männlichen als auch aus weiblichen Probanden, allerdings herrschte nicht in allen Gruppen ein 1:1-Verhältnis. Auf dem Hintergrund der aufgezeigten, zumindest gering besseren Leistung der Männer, könnte der Verdacht einer Verfälschung der Resultate entstehen. Beim Blick auf die Gruppen mit einer deutlicheren Verschiebung des Verteilungsverhältnisses zugunsten der Frauen, stellte sich jedoch heraus, dass die betroffenen Gruppen keine schlechtere Trainingsperformance aufweisen als Gruppen mit einem höheren Männeranteil. Somit ist nicht von einer Beeinflussung des Testergebnisses auszugehen, zumal der aufgewiesene Unterschied auch nur in den genannten zwei Läufen signifikant wurde.

Wie bereits in der Einleitung aufgezeigt, schien das männliche Geschlecht auch in anderen Testaufgaben einen Vorteil gegenüber dem weiblichen Geschlecht zu haben. Beim Finger-Tapping-Task könnte eine Ursache in der Fingerlänge der Probanden liegen. Hierzu könnten in anschließenden Studien die Fingerlänge ermittelt und in Relation zur motorischen Leistung gesetzt werden.

Allerdings wurde für den Finger-Tapping-Task bereits in anderen Studien gezeigt, dass weder die Elimination der Finger- noch der Handgröße als Einflussvariable den Effekt des Geschlechts eliminieren konnte (Nicholson and Kimura 1996).

Dem entgegen stehen Ergebnisse bei feinmotorischen Aufgaben, wie dem Purdue-Pegboard-Test, bei dem Unterschiede zwischen den Geschlechtern in Zusammenhang mit der Fingergröße stehen. Bei dem Purdue-Pegboard-Test, bei dem Frauen durchschnittlich bessere Ergebnisse als Männer erlangen (Schmidt et al. 2000; Peters et al. 1990), korreliert die Performancestärke negativ mit der Fingerlänge, eine Anpassung dieser hebt den geschlechtsspezifischen Unterschied auf (Peters, Servos et al. 1990).

### 4.3 Fazit und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass die extrinsische Repräsentation einer gelernten motorischen Fertigkeit im Gegensatz zur intrinsischen Repräsentation generalisieren kann. Dies gilt für beide Transferrichtungen, sowohl von der nicht-dominanten linken auf die dominante rechte Hand als auch von der dominanten auf die nicht dominante Hand und scheint somit nicht von der Dominanz einer Hemisphäre bestimmt. Zudem ist das Ausmaß der Transferleistung für beide Richtungen vergleichbar.

Zu weiteren Analyse wären ergänzende Untersuchungen von Bedeutung zur Beantwortung folgender Fragestellungen:

- Tritt bei verlängerter Transformationsphase ein Effekt auf die erneute Abrufleistung der Trainingssequenz auf, wird demnach ein Boostereffekt durch den Transfer erreicht? Und trifft dieses nur für die extrinsische oder auch die intrinsische Bedingung zu?
- Ermöglicht ein verkürztes Training durch die daraus resultierende Vergrößerung des verbliebenen Steigerungspotentials eine deutlichere Herausstellung der Transformation und somit auch einen Effekt auf die Abrufphase?
- Wenn die Transferrichtung wie gezeigt nicht von der Dominanz einer Hemisphäre für die motorische Aufgabe abhängt, welche Ergebnisse werden für denselben Studienaufbau mit Linkshändern erreicht?



## 5 Zusammenfassung

Lernprozesse des motorischen Gedächtnisses setzen sich aus einer initialen Lernphase und einem daran anschließenden Konsolidierungsprozess zusammen. Dabei kann eine unimanuell gelernte Fertigkeit generalisieren, also auf die zur Trainingshand kontralateralen Hand übertragen werden. Diese Generalisierung hängt von der Bedingung ab, ob die Originalversion übertragen werden soll oder eine zu dieser spiegelbildlich transformierte Version (s. Abb. 2). Die vorliegende Studie prüft diese Interaktion von Transferrichtung und -bedingung mit der Generalisierungsleistung. Auch wird untersucht, ob ein freies Zeitintervall zwischen Lernen und Abruf der gelernten Aufgabe mit der Transferleistung interferiert. Zusätzlich wird der in anderen Studien schon untersuchte Unterschied zwischen Männern und Frauen beim Erlernen motorischer Fertigkeiten herausgestellt.

Es wurden 132 nach dem Edinburgh Handedness Inventory als rechtshändig definierte, gesunde Probanden im Alter von 18 bis 29 Jahren (77 Frauen, 55 Männer) untersucht. Eine randomisierte Einteilung und definierte Ausschlusskriterien gewährleisteten homogene Grundvoraussetzungen in allen 11 Gruppen. Die Aufgabenstellung bestand aus einer Lern-, Transformations- und Abrufphase des etablierten Finger-Tapping-Task, wobei die Lernphase immer morgens stattfand, die Transformations- und Abrufphase je nach Gruppenzugehörigkeit direkt im Anschluss oder nach 12 Stunden am Abend desselben Tages. Die Probanden erlernten entweder mit der rechten oder mit der linken Hand eine komplexe Fingerbewegung über 15 Minuten. Die Aufgabe bestand aus dem möglichst schnellen repetitiven und korrekten Ausführung einer fünfstelligen numerischen Sequenz. Darauf folgte der Abruf der gleichen oder der gespiegelten sequentiellen Bewegung mit der jeweils kontralateralen Hand (Transferleistung). Eine Kontrollgruppe führte eine neue Bewegung mit vergleichbarem Schwierigkeitsgrad aus, die aber in keiner Beziehung zu dem trainierten Bewegungsablauf stand. An diese Transferbedingung schloss sich ein erneuter Abruf der Originalsequenz mit der Trainingshand an. Als Maß für die Transferleistung wurde die Anzahl der korrekt absolvierten Sequenzen pro Lauf (definiert als Geschwindigkeit) sowie die Reduktion der Fehler herangezogen. Zur Beurteilung von Aktivitätsgrad und Objektivierung der Schlafqualität wurden die etablierten Testverfahren Stanford Sleepiness Scale (SSS), Eigenschaftswörterliste (EWL-N) und Pittsburgh Schlafqualitätsindex (PSQI) eingesetzt.

Ein Vorteil bei der Generalisationsleistung zeigte sich nur beim Abruf der Originalsequenz mit der kontralateralen Hand (extrinsische Transformation), nicht hingegen für die

gespiegelte Bewegungsfolge (intrinsische Transformation). Dieser Effekt verliert sich über ein freies Zeitintervall von zwölf Stunden ohne Schlaf. Die Transformation der gelernten motorischen Fertigkeit ließ sich sowohl als Transfer einer linkshändig gelernten Bewegung auf die rechte Hand als auch einer rechtshändig trainierten Bewegungsabfolge auf die linke Hand nachweisen. Es gelang kein „Boostern“ der anderen Hand, d.h. es bestand kein Effekt auf den erneuten Abruf der Originalsequenz mit der Trainingshand im Anschluss an die extrinsisch bzw. intrinsisch transformierte Performance.

Männer zeigen in der Trainingsphase eine Überlegenheit gegenüber den untersuchten Frauen bei der Geschwindigkeitssteigerung innerhalb der Trainingsphase, resultierend in einer signifikant höheren Geschwindigkeit zum Trainingsende. Es bestand kein Unterschied zwischen den Geschlechtern hinsichtlich der Korrektheit der Bewegungsausführung.

Die Transferleistung der motorischen Fertigkeit ist von der Seite der lernenden Hand unabhängig. Dieses Ergebnis kann dahingehend interpretiert werden, dass motorische Informationen der nicht-dominanten Hand einen ebenso guten Einfluss wie Informationen der dominanten Hand auf die motorischen Lernzentren haben und beide Wege des Informationsflusses einen gleichwertigen Gedächtnisfad für motorische Informationen anlegen können. Bezieht man diesen Transfer auf das interne Koordinatensystem des motorischen Gedächtnisses werden für die Transformation der Originalsequenz die internen auf die Stellung von Gelenken und Muskelinnervation bezogenen Koordinaten im Vergleich zur erlernten Bewegung modifiziert, die externen Koordinaten des Bewegungsentwurfs bleiben gleich. Hierfür scheint ein komplexes Muster neuronaler Aktivität erforderlich. Der erlernte Bewegungsentwurf kann direkt auf die andere Hand übertragen werden, wobei sich dieser Vorteil in Form der besseren Transferleistung zeigt. Der umgekehrte Effekt tritt bei der Transferleistung der gespiegelten Bewegungsabfolge auf: Das externe Koordinatensystem der Bewegung wird modifiziert, muskuläre Innervation und Gelenkstellungen bleiben unverändert. In diesem Fall findet keine Generalisierung statt.

## 6 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ANOVA	Analysis of Variance, Varianzanalyse
A4	Durchlauf 1 bis 4 der Abrufphase
BG	Basalganglien (basalganglionär)
CB	Cerebellum (cerebellär)
CCW	counter clockwise
CW	clockwise
DH	dominante Hand
EEG	Elektroenzephalogramm
extr.	extrinsisch
extr. Transf.	extrinsische Transformation
EWL	Eigenschaftswörterliste
fMRT	funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie
intr.	Intrinsisch
intr. Transf.	Intrinsische Transformation
ITI	Intertapintervall
LH	linke Hand
L4	Durchlauf 12 bis 15 des Trainings
M1	primär motorischer Cortex
NDH	nichtdominante Hand
PM	prämotorischer Cortex
preSMA	präsupplementär motorische Area
PSQI	Pittsburgh Schlafqualitätsindex
RH	rechte Hand
SD	standard deviation, Standardabweichung
Seq.	Sequenz
SMA	supplementär motorische Area
SRTT	Serial Reaction Time Task
SSS	Stanford Sleepiness Scale
TA	Tastenanschläge
Tab.	Tabelle
Trg.	Training
ZNS	Zentralnervensystem

## 7 Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b> Hikosakas Modell.....	8
<b>Abb. 2:</b> Schematisch dargestellte Abfolge der Fingerbewegungen unter den beiden Transferbedingungen.....	13
<b>Abb. 3:</b> Studiendesign.....	22
<b>Abb. 4:</b> Steigerung der Geschwindigkeit über die 15 Trainings-Durchläufe für das Training mit der rechten bzw. linken Hand.....	28
<b>Abb. 5:</b> Reduktion der Fehleranzahl innerhalb des Trainings.....	29
<b>Abb. 6:</b> Steigerung der Geschwindigkeit innerhalb der Trainingsphase für die Sequenzen 1 und 2 bzw. 3 und 4.....	30
<b>Abb. 7:</b> Mittelwerte der vier Durchläufe der Transformationsphase für die Gruppen 1 (intrinsische Transformation), 3 (neue Sequenz) und 4 (extrinsische Transformation)...	31
<b>Abb. 8:</b> Mittelwerte der vier Durchläufe der Transformationsphase für die Gruppen 5 (intrinsische Transformation), 7 (neue Sequenz) und 8 (extrinsische Transformation)...	33
<b>Abb. 9:</b> Mittelwerte der Anzahl der richtigen Sequenzen über vier Durchläufe der Transformationsphase unter der intrinsischen Bedingung im Vergleich der Transferrichtung: NDH -> DH (Gruppe1), DH -> NDH (Gruppe 5).....	35
<b>Abb. 10:</b> Mittelwerte der Anzahl der richtigen Sequenzen über vier Durchläufe der Transformationsphase unter der extrinsischen Bedingung im Vergleich der Transferrichtung: NDH -> DH (Gruppe 4), DH -> NDH (Gruppe 8).....	36
<b>Abb. 11:</b> Mittelwerte der Anzahl der richtigen Sequenzen über vier Durchläufe des Abrufs für Gruppen 1 bis 4 des Blocks A.....	37
<b>Abb. 12:</b> Mittelwerte der Differenzen der mittleren Geschwindigkeit zum Ende der Trainingsphase und Abrufphase.....	38
<b>Abb. 13:</b> Mittelwerte der vier Durchläufe des Abrufs für Gruppen 5 bis 8 des Blocks B..	39
<b>Abb. 14:</b> Mittelwerte der Differenzen der mittleren Geschwindigkeit in Abrufphase und zum Ende der Trainingsphase.....	40
<b>Abb. 15:</b> Mittelwerte der vier Durchläufe der Transformationsphase für die Gruppen 9 (intrinsische Transformation) und 11 (extrinsische Transformation).....	41
<b>Abb. 16:</b> Mittelwerte der vier Durchläufe des Abrufs für Gruppen 9 bis 11 des Blocks C.....	42
<b>Abb. 17:</b> Mittelwerte der Differenzen der mittleren Geschwindigkeit zum Ende der Trainingsphase und Abrufphase.....	43
<b>Abb. 18:</b> Steigerung der Geschwindigkeit über die 15 Trainings-Trials für das weibliche bzw. männliche Geschlecht (Mittelwerte der Anzahl der Sequenzen mit Standardabweichungen.....	44

## 8 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1:</b> Studien mit rechtshändigen Probanden zur Untersuchung der intermanuellen Transferleistung auf die kontralaterale Hand nach dem Training einer Aufgabe mit der jeweils anderen Hand.....	10
<b>Tab. 2:</b> Probandenkollektiv des Teils II der Studie.....	25
<b>Tab. 3:</b> Altersstruktur und Geschlechterverteilung der einzelnen Gruppen.....	27
<b>Tab. 4:</b> Mittlere Scorewerte der Stanford Sleepiness Scale in den einzelnen Gruppen.	45
<b>Tab. 5:</b> Gemittelte Scorewerte der Eigenschaftswörterliste mit Unterkategorien beim Training.....	45
<b>Tab. 6:</b> Gemittelte Scorewerte der Eigenschaftswörterliste mit Unterkategorien beim Training.....	46
<b>Tab. 7:</b> PSQI.....	46

## 9 Anhang

### Einverständniserklärung

#### **Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Teilstudie „Untersuchung von Konsolidierungsprozessen beim expliziten Lernen einer Bewegung“ des Sonderforschungsbereiches Schlaf und Plastizität**

In dieser Studie wird die motorische Lernleistung gemessen. Dazu werden ein bzw. zwei Untersuchungszeitpunkte notwendig: (A) Morgens und abends oder (B) Abends und Morgens oder (C) nur Morgens.

Das Los entscheidet über die Reihenfolge der Untersuchung. In der Bedingung (B) wird der Schlaf mit einem Polysomnographiegerät aufgezeichnet, welches am Abend bereits angelegt wird. Zudem werden Daten hinsichtlich der Schlafqualität und der Händigkeit erhoben. Nach dem Erheben der Daten werden diese anonymisiert und gespeichert.

Es besteht die Möglichkeit jederzeit die Studie zu unterbrechen oder abubrechen, ohne dass ich dieses begründen muss oder ein Nachteil für mich entsteht. Der Untersuchungsarm (A) wird mit 25,00 €, der Untersuchungsarm (B) wird mit 50,00 € und der Untersuchungsarm (C) wird mit 15,00 € honoriert.

In einem Aufklärungsgespräch mit dem Versuchsleiter hatte ich ausreichend Gelegenheit meine Fragen beantworten zu lassen.

Ich stimme zu an dieser Studie teilzunehmen.

Kiel, den

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Probanden

## EWL-N, gekürzte Version

## Eigenschaftswörterliste (EWL-N)

Dies ist eine Liste von Wörtern, mit denen man beschreiben kann, wie man sich augenblicklich fühlt.

Gehen Sie alle Wörter der Liste nacheinander durch, und entscheiden Sie sofort bei jedem Wort, ob es für Ihr augenblickliches Befinden zutrifft oder nicht.

Trifft das Wort für Ihr augenblickliches Befinden zu, so machen Sie bitte ein Kreuz in den Kreis hinter „trifft zu“.

Trifft das Wort für Ihr augenblickliches Befinden nicht zu, so machen Sie bitte ein Kreuz in den Kreis hinter „trifft nicht zu“.

Es ist wichtig, dass Sie folgende Punkte beachten:

1. Beurteilen Sie nur, wie Sie sich **augenblicklich** fühlen. Es kommt nicht darauf an, wie Sie sich allgemein oder gelegentlich fühlen, sondern ob was Wort **augenblicklich** zutrifft oder nicht.
2. Überlegen Sie bitte nicht, welche Antwort den besten Eindruck machen könnte. Antworten Sie so, wie Ihr Befinden **augenblicklich** ist.
3. Denken Sie nicht lange über ein Wort nach, sondern geben Sie bitte die Antwort, die Ihnen unmittelbar in den Sinn kommt.
4. Sollte Ihnen die Antwort einmal schwerfallen, so entscheiden Sie sich für die Antwortmöglichkeit, die am **ehesten** zutreffen könnte.
5. Bitte lassen Sie kein Wort aus. Entscheiden Sie sich immer sofort.

Bitte im Folgenden so ankreuzen:                      trifft zu ☒                      trifft nicht zu ○

Dies sind einige Beispielwörter. Bearbeiten Sie bitte zuerst einmal diese.

schlapp . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○
zufrieden . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○
ruhig . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○
ungeduldig . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○

Haben Sie noch irgendwelche Fragen?

Hier noch einmal die wichtigsten Punkte:

1. Antworten Sie danach, wie Sie sich augenblicklich fühlen!
2. Sich sofort, möglichst schnell, bei jedem Wort entscheiden!
3. Wenn die Antwort schwerfällt, für diejenige Antwortmöglichkeit entscheiden, die am ehesten zutreffen könnte!
4. Kein Wort auslassen !

1	tatkräftig . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○
2	tiefsinnig . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○
3	nachlässig . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○
4	schläfrig . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○
5	froh . . . . .	trifft zu ○	trifft nicht zu ○

6	ruhelos . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
7	resolut . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
8	aufgeregt . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
9	blendend . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
10	todmüde . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
11	glücklich . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
12	temperamentlos . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
13	unermüdlich . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
14	wachsam . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
15	dösig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
16	teilnahmslos . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
17	eifrig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
18	benebelt . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
19	zappelig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
20	agil . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
21	romantisch . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
22	ausgezeichnet. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
23	beständig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
24	energielos . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
25	unausgeglichen . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
26	gedankenvoll . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
27	arbeitslustig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
28	z erfahren . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
29	angenehm . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
30	abgespannt . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
31	zermübt . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
32	arbeitsam . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
33	gedankenverloren . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
34	ausdauernd . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
35	befriedigt. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
36	erregt . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
37	angesäuselt . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
38	interessiert . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
39	unberechenbar . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
40	emsig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
41	kraftlos . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
42	berauscht . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
43	betriebsam. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>

44	faul . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
45	heiter . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
46	träge . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
47	rastlos. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
48	aufmerksam. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
49	besinnlich . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
50	fahrig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
51	aktiv . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
52	unstetig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
53	beschwingt. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
54	abgearbeitet . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
55	passiv . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
56	entschieden . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
57	verträumt. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
58	tüchtig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
59	kribbelig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
60	denkfaul . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
61	lustig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
62	bedeppert . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
63	schwerfällig. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
64	frohgemut . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
65	energisch . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
66	versonnen . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
67	übermütig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
68	gründlich . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
69	langsam . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
70	freudig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
71	besoffen . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
72	reizbar . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
73	schöpferisch . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
74	beschaulich. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
75	geistesabwesend. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
76	erschöpft . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
77	geschäftig. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
78	durchgedreht . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
79	gutgelaunt . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
80	angetrunken . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
81	lahm . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>

82	nervös . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
83	müde . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
84	fröhlich. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
85	entschlussfähig . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
86	behäbig. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
87	schlaftrunken. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
88	arbeitsfähig. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
89	träumerisch . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
90	zufrieden. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
91	einschläfernd. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
92	beschwipst . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
93	konzentriert . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
94	lasch. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
95	verkrampft . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
96	überschwenglich . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
97	sentimental. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
98	behende . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>

*Vielen Dank, der Test ist zu Ende.*

*Bitte beantworten Sie noch folgende Feststellungen:*

1	Ich bin ein Mann. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
2	Ich bin eine Frau. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
3	Der Test war sehr anstrengend. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
4	Ich hatte oft Mühe, das Richtige anzukreuzen . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
5	Der Test war nicht sehr anstrengend. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
6	Der Test fiel mir sehr leicht. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
7	Der Test war mir zu lang. . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
8	Schulabschluss: Hauptschule . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
9	Schulabschluss: Mittlere Reife . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
10	Schulabschluss: Abitur . . . . .	trifft zu <input type="radio"/>	trifft nicht zu <input type="radio"/>
11	Alter in Jahren . . . . .	_____	
12	Wie spät ist es? . . . . .	_____	

## Händigkeitstest nach Oldfield

Haben Sie direkte Verwandte, die Linkshänder sind oder waren? JA / NEIN  
 Wenn ja, welche: \_\_\_\_\_

*Bitte kreuzen Sie Ihre präferierte Hand für folgende Aktivitäten an.  
 Sofern die Präferenz so stark ist, dass Sie niemals die andere Hand benutzen würden, es sei denn, Sie wären dazu gezwungen, kreuzen Sie bitte „stets links“ bzw. „stets rechts“ an.*

*Wenn es keine Rolle spielt, welche Hand Sie benutzen, kreuzen Sie bitte „beide Seiten“ an.*

*Manche Tätigkeiten benötigen zwei Hände, in diesen Fällen sind weitere Angaben in Klammern ergänzt. Bitte füllen Sie den Bogen vollständig aus, lassen Sie die Felder nur dann frei, wenn Sie damit keine Erfahrung haben oder dies nie tun.*

	Stets Links	Meistens Links	Mit beiden Händen	Meistens Rechts	Stets Rechts
Schreiben					
Zeichnen					
Werfen					
Benutzen einer Schere					
Kämmen					
Benutzen der Zahnbürste					
Benutzen eines Messers (ohne zusätzliche Verwendung einer Gabel)					
Benutzen eines Messers (mit zusätzlicher Verwendung einer Gabel)					
Benutzen eines Löffels					
Benutzen eines Hammers					

Benutzen eines Schraubenziehers					
Benutzen eines Tennisschlägers					
Benutzen eines Cricketschlägers (untere Hand)					
Benutzen eines Golfschlägers (untere Hand)					
Benutzen eines Besens (obere Hand)					
Benutzen einer Gartenharke (obere Hand)					
Mit welcher Hand zünden Sie ein Streichholz an (Hand, die das Streichholz hält)?					
Mit welcher Hand öffnen Sie eine Schachtel/Joghurtbecher (Hand, die Deckel/Verschluss öffnet)?					
Mit welcher Hand halten Sie die Nähnadel?					

### Stanford Sleepiness Scale (deutschsprachige Übersetzung)

Grad der Schläfrigkeit	Skala
Fühle mich aktiv, vital, voll da, hellwach	1
Habe einen klaren Kopf, bin aber nicht in Top-Form; kann mich konzentrieren	2
Wach, aber entspannt; reagiere, bin aber nicht so ganz da	3
Etwas benommen, schlaff	4
Benommen, verliere das Interesse am Wachbleiben, tranig	5
Schläfrig, benommen, kämpfe mit dem Schlaf; würde mich gerne Hinlegen	6
Kämpfe nicht mehr gegen den Schlaf, schlafe gleich ein; traumartige Gedanken	7
Schlafe	X

## Pittsburgh-Schlafqualitätsindex (PSQI)

## Schlafqualitäts-Fragebogen (PSQI)

1

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihre üblichen Schlafgewohnheiten und zwar nur während der letzten vier Wochen. Ihre Antworten sollten möglichst genau sein und sich auf die Mehrzahl der Tage und Nächte während der letzten vier Wochen beziehen. Beantworten Sie bitte alle Fragen.

1. Wann sind Sie während der letzten vier Wochen gewöhnlich abends zu Bett gegangen?

übliche Uhrzeit:

2. Wie lange hat es während der letzten vier Wochen gewöhnlich gedauert, bis Sie nachts eingeschlafen sind?

In Minuten:

3. Wann sind Sie während der letzten vier Wochen gewöhnlich morgens aufgestanden?

übliche Uhrzeit:

4. Wieviele Stunden haben Sie während der letzten vier Wochen pro Nacht tatsächlich geschlafen?  
(Das muß nicht mit der Anzahl der Stunden, die Sie im Bett verbracht haben, übereinstimmen.)

Effektive Schlafzeit (Stunden) pro Nacht:

Kreuzen Sie bitte für jede der folgenden Fragen die für Sie zutreffende Antwort an. Beantworten Sie bitte alle Fragen.

5. Wie oft haben Sie während der letzten vier Wochen schlecht geschlafen, ...

- a) ... weil Sie nicht innerhalb von 30 Minuten einschlafen konnten?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht  
 Weniger als einmal pro Woche  
 Einmal oder zweimal pro Woche  
 Dreimal oder häufiger pro Woche

- b) ... weil Sie mitten in der Nacht oder früh morgens aufgewacht sind?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht  
 Weniger als einmal pro Woche  
 Einmal oder zweimal pro Woche  
 Dreimal oder häufiger pro Woche

- c) ... weil Sie aufstehen mußten, um zur Toilette zu gehen?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht  
 Weniger als einmal pro Woche  
 Einmal oder zweimal pro Woche  
 Dreimal oder häufiger pro Woche

d) ... weil Sie Beschwerden beim Atmen hatten?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

e) ... weil Sie husten mußten oder laut geschnarcht haben?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

f) ... weil Ihnen zu kalt war?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

g) ... weil Ihnen zu warm war?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

h) ... weil Sie schlecht geträumt hatten?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

i) ... weil Sie Schmerzen hatten?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

j) ... aus anderen Gründen?

Bitte beschreiben:

Und wie oft während des letzten Monats konnten Sie aus diesem Grund schlecht schlafen?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

6. Wie würden Sie insgesamt die Qualität Ihres Schlafes während der letzten vier Wochen beurteilen?

- Sehr gut
- Ziemlich gut
- Ziemlich schlecht
- Sehr schlecht

7. Wie oft haben Sie während der letzten vier Wochen Schlafmittel eingenommen (vom Arzt verschriebene oder frei verkäufliche)?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

8. Wie oft hatten Sie während der letzten vier Wochen Schwierigkeiten wachzubleiben, etwa beim Autofahren, beim Essen oder bei gesellschaftlichen Anlässen?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

9. Hatten Sie während der letzten vier Wochen Probleme, mit genügend Schwung die üblichen Alltagsaufgaben zu erledigen?

- Keine Probleme
- Kaum Probleme
- Etwas Probleme
- Große Probleme

10. Schlafen Sie allein in Ihrem Zimmer?

- Ja
- Ja, aber ein Partner/Mitbewohner schläft in einem anderen Zimmer
- Nein, der Partner schläft im selben Zimmer, aber nicht im selben Bett
- Nein, der Partner schläft im selben Bett

Falls Sie einen Mitbewohner / Partner haben, fragen Sie sie/ihn bitte, ob und wie oft er/sie bei Ihnen folgendes bemerkt hat.

a) Lautes Schnarchen

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

b) Lange Atempausen während des Schlafes

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

c) Zucken oder ruckartige Bewegungen der Beine während des Schlafes

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

d) Nächtliche Phasen von Verwirrung oder Desorientierung während des Schlafes

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

e) Oder andere Formen von Unruhe während des Schlafes

Bitte beschreiben:

---

Machen Sie bitte noch folgende Angaben zu Ihrer Person:

Alter: \_\_\_\_\_ Jahre

Körpergröße: .....

Gewicht:.....

Geschlecht:  weiblich  
 männlich

Beruf:  
 Schüler/Student(In)  
 Arbeiter(in)

Rentner(In)  
 selbständig  
 Angestellte(r)  
 arbeitslos/ Hausfrau(mann)

## Fragebogen zu Ausschlusskriterien

<b>Fragebogen</b> <b>Plastizität und Schlaf</b> <b>Konsolidierungsprozesse beim expliziten Lernen</b>	
<b>1) Üben Sie regelmäßig eine Tätigkeit aus, die mit dem Anschlagen von Tasten vergleichbar ist (z.B. Musiker (Klavier spielen), SekretärInnen, Computer spielen)?</b> Wenn ja: Was? In welchem Umfang?	ja [ ] nein [ ]
<b>2) Gab es im Zeitraum der Durchführung des Experiments ein außergewöhnliches Ereignis (z.B. Unfall)?</b>	ja [ ] nein [ ]
<b>3) Arbeiten Sie im Schichtdienst mit Nachtschichten?</b> Wenn ja: Wie lange ist die letzte Nachtschicht her?	ja [ ] nein [ ]
<b>4) Hatten Sie schon einmal schwerwiegende Infektionen (z.B. Enzephalitis („Kopfgrippe“), Meningitis (Hirnhautentzündung), Herpes zoster („Gürtelrose“))?</b> Wenn ja: Wann etwa?	ja [ ] nein [ ]
<b>5) Hatten Sie schon einmal eine Intoxikation (z.B. durch Lacke, Gase, Co-Vergiftung)?</b> Wenn ja: Wann etwa?	ja [ ] nein [ ]
<b>6) Mussten Sie schon einmal über einen längeren Zeitraum (~ ½ Jahr) Medikamente einnehmen (z.B. Beruhigungs- oder Schlafmittel)?</b> Wenn ja: Wann etwa bzw. seit wann?	ja [ ] nein [ ]
<b>7) Trinken Sie Alkohol?</b> Wenn ja: Was? Wie oft? Wieviel ungefähr?	ja [ ] nein [ ] früher schon [ ]
<b>8) Rauchen Sie?</b> Wenn ja: Seit wann bzw. bis wann und wie lange? Wieviel ungefähr?	ja [ ] nein [ ] früher schon [ ]
<b>9) Nehmen Sie sonstige Drogen (z.B. Tabletten, Rauschgifte)?</b> Wenn ja: Was? Wie oft? Wieviel ungefähr?	ja [ ] nein [ ]
<b>10) Hatten Sie irgendwann ein Schädel-Hirn-Trauma?</b> Wenn ja: Wann etwa? Wodurch? Wahrgenommene Folgen?	ja [ ] nein [ ]
<b>11) Wurden Sie schon einmal am Kopf operiert?</b> Wenn ja: Wann etwa?	ja [ ] nein [ ]
<b>12) Leiden Sie unter neurologischen Erkrankungen (z.B. Ausfälle in Motorik oder Sensorik, Epilepsie, Multiple Sklerose, M. Parkinson, Schlaganfall)?</b> Wenn ja: Seit wann?	ja [ ] nein [ ]

<p><b>13) Haben Sie sich irgendwann einmal wegen einer psychischen Störung (z.B. wegen Ängsten, depressiven Verstimmungen) behandeln lassen bzw. unter einer solchen Störung gelitten?</b> Wenn ja: Wann etwa?</p>	<p>ja [ ] nein [ ]</p>
<p><b>14) Leiden Sie an sonstigen chronischen oder akuten Erkrankungen?</b> Wenn ja: Was? Wie lange?</p>	<p>ja [ ] nein [ ]</p>
<p>NUR GRUPPE 3 &amp; 4: <b>15) Schlafzeit in der Nacht der Messung:</b></p>	<p>von ____ Uhr bis ____ Uhr</p>

## 10. Abstract für den 84. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Neurologie

38. September bis 1. Oktober 2011 in Wiesbaden

Frühe Transferleistungen im motorischen System: eine Studie an gesunden Probanden

Christina Bieber, Susanne Nimmrich, Anne Stoldt, Karsten Witt  
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Kiel  
Klinik für Neurologie  
Schittenhelmstr. 10  
24105 Kiel

**Einleitung:** Lernprozesse führen zu einer nachhaltigen Verbesserung von Bewegungsabläufen im motorischen System, welche in einer initialen Lernphase erworben und in einer Konsolidierungsphase gefestigt werden. Gut belegt ist, dass nach einer Konsolidierungsphase motorische Fertigkeiten generalisieren können – also eine komplexe Bewegung, welche mit einer Hand gelernt wurde, auf die andere Hand übertragen wird. In der vorliegenden Studie prüften wir diese Generalisierung im motorischen System unmittelbar nach der Lernphase.

**Methodik:** 72 gesunde, rechtshändige Probanden im Alter zwischen 18 und 29 Jahren wurden in 6 Gruppen à 12 Probanden untersucht. Sie erlernten entweder mit der rechten oder mit der linken Hand eine komplexe Fingerbewegung über 15 Minuten. Dann erfolgte der Abruf der gleichen oder der gespiegelten Bewegung an der jeweils anderen Hand (Transferleistung). Als Kontrollbedingung führte jeweils eine weitere Gruppe eine neue Bewegung mit vergleichbarem Schwierigkeitsgrad aus, die aber in keiner Beziehung zu dem trainierten Bewegungsablauf stand.

**Ergebnisse:** Ein Vorteil bei der Transferleistung zeigte sich nur, wenn die gleiche Bewegungsabfolge in der kontralateralen Hand abgerufen wurde, nicht hingegen in der gespiegelten Bewegungsfolge. Diese Generalisierung der gelernten motorischen Bewegung ließ sich sowohl als Transfer einer linkshändig gelernten Bewegung auf die rechte Hand, als auch einer rechtshändig trainierten Bewegungsabfolge auf die linke Hand nachweisen.

**Schlussfolgerung:** Die Transferleistung motorischer Fertigkeiten ist von der Seite der lernenden Hand unabhängig und ist somit vermutlich nicht von der Dominanz einer Hemisphäre für motorische Fertigkeiten bestimmt. Bezieht man diesen Transfer einer gelernten Bewegung auf die Muskeln und Gelenke, so bleibt das interne Koordinatensystem des Bewegungsentwurfes beim Transfer im Vergleich zur erlernten Bewegung gleich, Muskelinnervation und Gelenkbewegungen kehren sich hingegen um. Es kann also der erlernte Bewegungsentwurf direkt auf die andere Hand übertragen werden und dieser Vorteil zeigt sich in Form der besseren Transferleistung. Bei der Transferleistung gespiegelter Bewegung ist es genau umgekehrt: das interne Koordinatensystem der Bewegung wird gespiegelt, die muskuläre Innervation bleibt hingegen unverändert. Diese Bewegungskomponente generalisiert hingegen nicht.

## 11 Literaturverzeichnis

- Arunachalam, R., V. S. Weerasinghe, et al. (2005). "Motor control of rapid sequential finger tapping in humans." *J Neurophysiol* **94**(3): 2162-2170.
- Astur, R. S., J. Tropp, et al. (2004). "Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation." *Behav Brain Res* **151**(1-2): 103-115.
- Atkeson, C. G. (1989). "Learning arm kinematics and dynamics." *Annu Rev Neurosci* **12**: 157-183.
- Basso, M. R., K. Harrington, et al. (2000). "Sex differences on the WMS-III: findings concerning verbal paired associates and faces." *Clin Neuropsychol* **14**(2): 231-235.
- Bleecker, M. L., K. Bolla-Wilson, et al. (1988). "Age-related sex differences in verbal memory." *J Clin Psychol* **44**(3): 403-411.
- Bornstein, R. A. (1986). "Consistency of intermanual discrepancies in normal and unilateral brain lesion patients." *J Consult Clin Psychol* **54**(5): 719-23.
- Boyd, L. A. and C. J. Winstein (2001). "Implicit motor-sequence learning in humans following unilateral stroke: the impact of practice and explicit knowledge." *Neurosci Lett* **298**(1): 65-69.
- Brashers-Krug, T., R. Shadmehr, et al. (1996). "Consolidation in human motor memory." *Nature* **382**(6588): 252-5.
- Carlier, M., A. M. Dumont, et al. (1993). "Hand performance of French children on a finger-tapping test in relation to handedness, sex, and age." *Percept Mot Skills* **76**(3 Pt 1): 931-940.
- Carson, R. G. (2005). "Neural pathways mediating bilateral interactions between the upper limbs." *Brain Res Brain Res Rev* **49**(3): 641-662.
- Cohen, D. A., A. Pascual-Leone, et al. (2005). "Off-line learning of motor skill memory: a double dissociation of goal and movement." *Proc Natl Acad Sci U S A* **102**(50): 18237-18241.
- Cohen, M. R. (1997). "Individual and sex differences in speed of handwriting among high school students." *Percept Mot Skills* **84**(3 Pt 2): 1428-1430.
- Criscimagna-Hemminger, S. E., O. Donchin, et al. (2003). "Learned dynamics of reaching movements generalize from dominant to nondominant arm." *J Neurophysiol* **89**(1): 168-176.
- DeLong, M., Wichmann T. (2009). "Update on models of basal ganglia function and dysfunction." *Parkinsonism Relat Disord.* 2009 Dec;15 Suppl 3:S237-40. doi: 10.1016/S1353-8020(09)70822-3.
- Dizio, P. and J. R. Lackner (1995). "Motor adaptation to Coriolis force perturbations of reaching movements: endpoint but not trajectory adaptation transfers to the nonexposed arm." *J Neurophysiol* **74**(4): 1787-1792.
- Dorfberger, S., E. Adi-Japha, et al. (2009). "Sex differences in motor performance and motor learning in children and adolescents: an increasing male advantage in motor learning and consolidation phase gains." *Behav Brain Res* **198**(1): 165-171.
- Fischer, S., M. Hallschmid, et al. (2002). "Sleep forms memory for finger skills." *Proc Natl Acad Sci U S A* **99**(18): 11987-11991.
- Gerloff, C., B. Corwell, et al. (1998). "The role of the human motor cortex in the control of complex and simple finger movement sequences." *Brain* **121** ( Pt 9): 1695-1709.
- Grafton, S. T., E. Hazeltine, et al. (2002). "Motor sequence learning with the nondominant left hand. A PET functional imaging study." *Exp Brain Res* **146**(3): 369-378.
- Grafton, S. T., J. C. Mazziotta, et al. (1992). "Functional anatomy of human procedural learning determined with regional cerebral blood flow and PET." *J Neurosci* **12**(7): 2542-2548.
- Gron, G., A. P. Wunderlich, et al. (2000). "Brain activation during human navigation: gender-different neural networks as substrate of performance." *Nat Neurosci* **3**(4): 404-408.

- Haaland, K. Y. and D. L. Harrington (1996). "Hemispheric asymmetry of movement." Curr Opin Neurobiol **6**(6): 796-800.
- Hall, J. A. and D. Kimura (1995). "Sexual orientation and performance on sexually dimorphic motor tasks." Arch Sex Behav **24**(4): 395-407.
- Halsband, U. (1992). "Left hemisphere preponderance in trajectorial learning." Neuroreport **3**(5): 397-400.
- Halsband, U. and R. K. Lange (2006). "Motor learning in man: a review of functional and clinical studies." J Physiol Paris **99**(4-6): 414-424.
- Hamilton, C. J. (1995). "Beyond sex differences in visuo-spatial processing: the impact of gender trait possession." Br J Psychol **86** ( Pt 1): 1-20.
- Hamstra-Bletz, L. and A. W. Blote (1990). "Development of handwriting in primary school: a longitudinal study." Percept Mot Skills **70**(3 Pt 1): 759-70.
- Hauptmann, B. and A. Karni (2002). "From primed to learn: the saturation of repetition priming and the induction of long-term memory." Brain Res Cogn Brain Res **13**(3): 313-322.
- Hausmann, M., O. Gunturkun, et al. (2003). "Age-related changes in hemispheric asymmetry depend on sex." Laterality **8**(3): 277-90.
- Hausmann, M. (2005). "Hemispheric asymmetry in spatial attention across the menstrual cycle." Neuropsychologia **43**(11): 1559-1567.
- Hicks, R. E. (1974). Asymmetry of bilateral transfer. American Journal of Psychology, **87**, 667-674.
- Hikosaka, O., H. Nakahara, et al. (1999). "Parallel neural networks for learning sequential procedures." Trends Neurosci **22**(10): 464-471.
- Hikosaka, O., K. Nakamura, et al. (2002). "Central mechanisms of motor skill learning." Curr Opin Neurobiol **12**(2): 217-222.
- Karni, A. and D. Sagi (1993). "The time course of learning a visual skill." Nature **365**(6443): 250-252.
- Kee, D. W., R. Matteson, et al. (1989). "Lateralized finger-tapping interference produced by block design activities." Brain Cogn **11**(1): 127-132.
- Kim, S. G., J. Ashe, et al. (1993). "Functional imaging of human motor cortex at high magnetic field." J Neurophysiol **69**(1): 297-302.
- Kimura, D. (1977). "Acquisition of a motor skill after left-hemisphere damage." Brain **100**(3): 527-542.
- Kimura, D. and Y. Archibald (1974). "Motor functions of the left hemisphere." Brain **97**(2): 337-350.
- Kirsch, W. and J. Hoffmann (2010) "Asymmetrical intermanual transfer of learning in a sensorimotor task." Exp Brain Res **202**(4): 927-934.
- Lange, R. K., B. Godde, et al. (2004). "EEG correlates of coordinate processing during intermanual transfer." Exp Brain Res **159**(2): 161-171.
- Laszlo, J.I., Baguley, R.A., et al. (1970). "Bilateral transfer in tapping skill in the absence of peripheral information." J Mot Behav. 1970 Dec;2(4):261-71.
- Lewin, C., G. Wolgers, et al. (2001). "Sex differences favoring women in verbal but not in visuospatial episodic memory." Neuropsychology **15**(2): 165-173.
- Lissek, S., M. Hausmann, et al. (2007). "Sex differences in cortical and subcortical recruitment during simple and complex motor control: an fMRI study." Neuroimage **37**(3): 912-926.
- Maki, P. M., J. B. Rich, et al. (2002). "Implicit memory varies across the menstrual cycle: estrogen effects in young women." Neuropsychologia **40**(5): 518-529.
- Mann, V. A., S. Sasanuma, et al. (1990). "Sex differences in cognitive abilities: a cross-cultural perspective." Neuropsychologia **28**(10): 1063-1077.
- McGlone, J. (1978). "Sex differences in functional brain asymmetry." Cortex **14**(1): 122-128.
- McGowan, J. F. and T. Duka (2000). "Hemispheric lateralisation in a manual-verbal task combination: the role of modality and gender." Neuropsychologia **38**(7): 1018-1027.

- Meinschaefer, J., M. Hausmann, et al. (1999). "Laterality effects in the processing of syllable structure." Brain Lang **70**(2): 287-293.
- Nakahara, H., K. Doya, et al. (2001). "Parallel cortico-basal ganglia mechanisms for acquisition and execution of visuomotor sequences - a computational approach." J Cogn Neurosci **13**(5): 626-647.
- Nicholson, K. G. and D. Kimura (1996). "Sex differences for speech and manual skill." Percept Mot Skills **82**(1): 3-13.
- Otero, C., D. Rodriguez, et al. (2008). "Natural sex hormone cycles and gender differences in memory." Actas Esp Psiquiatr.
- Parlow SE1, Kinsbourne M. (1989). "Asymmetrical transfer of training between hands: Implications for hemispheric communication in normal brain." Brain Cogn. **11**(1):98-113.
- Perez, M. A., S. Tanaka, et al. (2007). "Neural substrates of intermanual transfer of a newly acquired motor skill." Curr Biol **17**(21): 1896-1902.
- Perez, M. A., S. P. Wise, et al. (2007). "Neurophysiological mechanisms involved in transfer of procedural knowledge." J Neurosci **27**(5): 1045-1053.
- Peters, M., B. Laeng, et al. (1995). "A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: different versions and factors that affect performance." Brain Cogn **28**(1): 39-58.
- Peters, M., P. Servos, et al. (1990). "Marked sex differences on a fine motor skill task disappear when finger size is used as covariate." J Appl Psychol **75**(1): 87-90.
- Preilowski, B. (1977). "Self-recognition as a test of consciousness in left and right hemisphere of "split-brain" patients." Act Nerv Super (Praha) **19 Suppl 2**: 343-4.
- Press, D. Z., M. D. Casement, et al. (2005). "The time course of off-line motor sequence learning." Brain Res Cogn Brain Res **25**(1): 375-8.
- Rasmjou, S., M. Hausmann, et al. (1999). "Hemispheric dominance and gender in the perception of an illusion." Neuropsychologia **37**(9): 1041-1047.
- Robertson, E.M., Pascual-Leone, A. et al. (2004). "Awareness modifies the skill-learning benefits of sleep." Curr Biol. 2004 Feb 3;14(3):208-12.
- Romei, V., G. Thut, et al. (2009). "M1 contributes to the intrinsic but not the extrinsic components of motor-skills." Cortex **45**(9): 1058-1064.
- Ruff, R. M. and S. B. Parker (1993). "Gender- and age-specific changes in motor speed and eye-hand coordination in adults: normative values for the Finger Tapping and Grooved Pegboard Tests." Percept Mot Skills **76**(3 Pt 2): 1219-1230.
- Sakai, K., O. Hikosaka, et al. (1998). "Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuomotor sequence learning." J Neurosci **18**(5): 1827-1840.
- Schluter, N. D., M. F. Rushworth, et al. (1998). "Temporary interference in human lateral premotor cortex suggests dominance for the selection of movements. A study using transcranial magnetic stimulation." Brain **121 ( Pt 5)**: 785-799.
- Schmidt, S. L., R. M. Oliveira, et al. (2000). "Influences of handedness and gender on the grooved pegboard test." Brain Cogn **44**(3): 445-54.
- Seitz, R. J., E. Roland, et al. (1990). "Motor learning in man: a positron emission tomographic study." Neuroreport **1**(1): 57-60.
- Shimoyama, I., T. Ninchoji, et al. (1990). "The finger-tapping test. A quantitative analysis." Arch Neurol **47**(6): 681-684.
- Soechting, J. F. and M. Flanders (1989). "Errors in pointing are due to approximations in sensorimotor transformations." J Neurophysiol **62**(2): 595-608.
- Squire, L. R. (1992). "Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans." Psychol Rev **99**(2): 195-231.
- Squire, L. R. and S. M. Zola (1996). "Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems." Proc Natl Acad Sci U S A **93**(24): 13515-13522.
- Stoddard, J. and J. Vaid (1996). "Asymmetries in intermanual transfer of maze learning in right- and left-handed adults." Neuropsychologia **34**(6): 605-608.
- Swinnen, S.P., Jardin, K., et al. (1997). "Egocentric and allocentric constraints in the

- expression of patterns of interlimb coordination." J Cogn Neurosci. 1997 May;9(3):348-77.
- Taylor HG, Heilman KM (1980). "Left-hemisphere motor dominance in righthanders." Cortex.16(4):587-603.
- Thut, G., N. D. Cook, et al. (1996). "Intermanual transfer of proximal and distal motor engrams in humans." Exp Brain Res **108**(2): 321-327.
- Uttner, I., N. Mai, et al. (2005). "Quantitative evaluation of mirror movements in adults with focal brain lesions." Eur J Neurol **12**(12): 964-975.
- Vaid, J. and J. Stiles-Davis (1989). "Mirror writing: an advantage for the left-handed?" Brain Lang **37**(4): 616-627.
- Walker, M. P., T. Brakefield, et al. (2003). "Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation." Nature **425**(6958): 616-620.
- Walker, M. P., T. Brakefield, et al. (2002). "Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning." Neuron **35**(1): 205-211.
- Wang, J. and R. L. Sainburg (2003). "Mechanisms underlying interlimb transfer of visuomotor rotations." Exp Brain Res **149**(4): 520-526.
- Wang, J. and R. L. Sainburg (2007). "The dominant and nondominant arms are specialized for stabilizing different features of task performance." Exp Brain Res **178**(4): 565-570.
- Willingham, D. B. (1998). "A neuropsychological theory of motor skill learning." Psychol Rev **105**(3): 558-84.
- Witt, K., Margraf, N et al. (2010). "Sleep consolidates the effector-independent representation of a motor skill." Neuroscience **171** (1) 227-34.
- Yang M-J. (1997). « Mirror writing in right-handers and in left-handers: a study using Chinese characters." Neuropsychologia 35:1491–8.

## Bücher

Berlit, Klinische Neurologie, Auflage 3, Springer Verlag, 3. Auflage, 2011

Lehrbuch der Physiologie von Rüdiger Gay, Astrid Rothenburger, Rainer Klinke und Stefan Silbernagl von Thieme, Stuttgart (21. Auflage, 2005)

Trepel, M., Neuroanatomie Neuroanatomie. Struktur und Funktion von Martin Trepel (Urban & Fischer 30. Auflage, 2003)

Schmidt, Thews, Lang: Physiologie des Menschen (Springer-Lehrbuch)( 2000)

Wulf, Gabriele Aufmerksamkeit und motorisches Lernen, 1. Auflage 2009, Elsevier GmbH München, Urban & Fischer Verlag

## 12 Danksagung

Zu guter Letzt möchte ich mich bei allen Personen bedanken, deren Unterstützung diese Arbeit erst ermöglicht hat.

Mein besonderer Dank gilt:

- Herrn Prof. Dr. med. Karsten Witt für die hervorragende Betreuung und seine Diskussions- und Hilfsbereitschaft.
- Herrn Prof. Dr. med. Deuschl, Direktor der Klinik für Neurologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen.
- Frau Dr. Christina Bieber, die mir jederzeit für Rückfragen zur Seite stand und mich tatkräftig beim Entwerfen des wissenschaftlichen Posters unterstützt hat.

Von Herzen bedanken möchte ich mich auch bei:

- meinen Eltern für die uneingeschränkte, liebevolle und jede erdenkliche Unterstützung während meines Studiums, bei der Durchführung dieser Arbeit und auf all meinen Wegen.
- meinem Bruder, auf den ich immer zählen kann und der immer eine Lösung des Problems parat hat.
- meinem Freund Maximilian, der mich in meiner Arbeit bestärkt hat und immer hinter mir steht, für seine unermüdliche Unterstützung und Motivation
- meinen Freunden für die Geduld und die hilfreichen Korrekturarbeiten.

## 13 Curriculum vitae

Susanne Luise Odendahl  
Landgrafenstr. 79  
50931 Köln

### Persönliche Angaben:

Geburtsdatum: 22.11.1984  
Geburtsort: Georgsmarienhütte

### Ausbildung und Studium:

06/2004	Abitur am Gymnasium Carolinum Osnabrück
2004	Auslandsaufenthalt, „Work and Travel“ in Australien
10/2005 – 11/2011	Studium der Humanmedizin
10/2005 – 07/2007	Vorklinischer Abschnitt an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
07/2007	1. Staatsexamen
10/2007 – 03/2008	1. Klinisches Jahr an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
04/2008 – 11/2011	Fortsetzung des Klinischen Abschnitts an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
08/2010 – 07/2011	Praktisches Jahr
10 / 2011 – 11/ 2011	2. Staatsexamen
seit 02/2012	Assistenzärztin und wissenschaftliche Mitarbeiterin, Abteilung für Kinder- und Jugendmedizin, Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin und kardiochirurgische Intensivstation des Deutschen Kinderherzzentrums Sankt Augustin, Sankt Augustin

### Veröffentlichungen:

Nimmrich S, Horneff G. (2015): "The Incidence of herpes zoster infections in juvenile idiopathic arthritis patients". Rheumatol Int. 2015 Mar;35(3):465-70. doi: 10.1007/s00296-014-3197-6. Epub 2015 Jan 13.

Nimmrich S, Becker I, Horneff G. (2014): "Intraarticular corticosteroids in refractory childhood Lyme arthritis" Rheumatol Int. 2014 Jul;34(7):987-94. doi: 10.1007/s00296-013-2923-9. Epub 2014 Jan 4.

### Vortrag:

03.05.2014 Annual Lyme & Tick-borne Diseases Conference; Lyme Disease Association, Inc.; "Intraarticular corticosteroids in refractory childhood Lyme arthritis"