

# Training der Beidhandkoordination bei Kindern

Sensomotorische Entwicklung und Aufmerksamkeit  
als Einflussfaktoren

## **Dissertation**

der Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften  
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von  
**Dipl.-Psych. Esther Höfler-Weber**  
aus Freiburg i.Br.

Tübingen  
2003

Tag der mündlichen Qualifikation: 29.10.2003  
Dekan: Prof. Dr. Ulrich Güntzer  
1. Berichterstatter: Prof. Dr. Bruno Preilowski  
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Martin Hautzinger

Für meine Eltern



# Inhaltsverzeichnis

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 1         | THEORIE .....  | 8  |
| 1.1       | Einleitung .....   | 8  |
| 1.2       | Problemstellung .....  | 9  |
| 1.3       | Bimanuelle Koordination: Grundlagen .....                        | 10 |
| 1.3.1     | Definitionen .....   | 10 |
| 1.3.2     | Funktionelle Konzepte und Modellvorstellungen .....              | 10 |
| 1.3.3     | Strukturelle Vorgaben .....                                      | 11 |
| 1.3.4     | Neuronale Grundlagen .....                                       | 12 |
| 1.4       | Entwicklung der Beidhandkoordination .....                       | 14 |
| 1.4.1     | Forschungsbefunde .....  | 14 |
| 1.4.2     | Exkurs: Motorisches Lernen während der Entwicklung .....         | 16 |
| 1.4.2.1   | Lernaufgaben .....   | 16 |
| 1.5       | Faktoren für die Beidhandkoordination und ihre Entwicklung ..... | 17 |
| 1.5.1     | Neuromotorische Entwicklung .....                                | 17 |
| 1.5.1.1   | Motorische Entwicklungsstörungen und Beidhandkoordination .....  | 18 |
| 1.5.2     | Aufmerksamkeitsfaktoren .....                                    | 19 |
| 1.6       | Fragestellungen und Hypothesen .....                             | 20 |
| 2         | METHODEN .....   | 22 |
| 2.1       | Versuchspersonen .....   | 22 |
| 2.1.1     | Drop-outs .....  | 22 |
| 2.1.2     | Beschreibung der Versuchspersonengruppen .....                   | 23 |
| 2.2       | Erhebungsinstrumente und Geräte .....                            | 24 |
| 2.2.1     | Fragebogen .....   | 24 |
| 2.2.2     | Annett-Test .....  | 24 |
| 2.2.3     | Intelligenztest .....  | 25 |
| 2.2.4     | Intermodale geteilte Aufmerksamkeit .....                        | 25 |
| 2.2.4.1   | Aufgabenbeschreibung im Aufmerksamkeitstest .....                | 26 |
| 2.2.5     | Zürcher Neuromotorik-Test .....                                  | 26 |
| 2.2.5.1   | Aufgabenbeschreibung im „Zürcher Neuromotorik-Test“ .....        | 27 |
| 2.2.6     | Beidhandkoordinationsaufgaben (BMC-Test) .....                   | 28 |
| 2.2.6.1   | Beschreibung der Beidhandkoordinationsaufgaben .....             | 29 |
| 2.2.6.1.1 | Einhändige Rotationsbedingungen .....                            | 30 |
| 2.2.6.1.2 | Beidhändige Rotationsbedingungen .....                           | 31 |
| 2.2.6.2   | Instruktion zur Durchführung der BMC-Aufgaben .....              | 32 |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 2.3       | Durchführung der Untersuchung .....                                    | 33        |
| 2.3.1     | Untersuchungsablauf mit experimentellem Design .....                   | 33        |
| 2.3.1.1   | Beidhandkoordinationsprüfung im Prä- und Posttest .....                | 35        |
| 2.3.1.2   | Aufgabendesign in den Trainingssitzungen .....                         | 36        |
| 2.4       | Datenverarbeitung .....  | 38        |
| 2.4.1     | Geteilte Aufmerksamkeit .....  | 38        |
| 2.4.2     | Mitbewegungen und neuromotorische Geschicklichkeit .....               | 38        |
| 2.4.3     | Masse für die Beidhandkoordinationsleistung .....                      | 39        |
| <b>3</b>  | <b>ERGEBNISSE .....</b>  | <b>41</b> |
| 3.1       | Beobachtungen während der Untersuchung .....                           | 41        |
| 3.2       | Händigkeit .....   | 42        |
| 3.3       | Intelligenz .....  | 42        |
| 3.4       | Aufmerksamkeit .....   | 43        |
| 3.5       | Beidhandkoordination .....   | 43        |
| 3.5.1     | Leistungen bei isolierter Aktivität einer Hand .....                   | 44        |
| 3.5.2     | Beidhändige Koordinationsleistung im Prätest und Training .....        | 45        |
| 3.5.2.1   | Ausgangsuntersuchung mit dem Beidhandkoordinationstest .....           | 45        |
| 3.5.2.2   | Trainingsverlauf und Trainingseffekte .....                            | 46        |
| 3.5.2.2.1 | Trainingseffekte in den Durchführungszeiten .....                      | 47        |
| 3.5.2.2.2 | Trainingseffekte in den Weglängen .....                                | 50        |
| 3.5.3     | Follow-up-Prüfungen .....  | 53        |
| 3.5.4     | Transfereffekte .....  | 54        |
| 3.6       | Neuromotorik .....   | 56        |
| 3.6.1     | Testwiederholungs-Effekte .....  | 57        |
| 3.6.1.1   | Geschicklichkeit der Hände .....                                       | 57        |
| 3.6.1.2   | Kontralaterale Mitbewegungen .....                                     | 58        |
| 3.7       | Beidhandkoordination und andere Testmasse .....                        | 61        |
| <b>4</b>  | <b>DISKUSSION .....</b>  | <b>65</b> |
| 4.1       | Trainierbarkeit der Beidhandkoordination im noch unreifen Gehirn ..... | 65        |
| 4.1.1     | Bimanuelle Koordination in der Ausgangsuntersuchung .....              | 65        |
| 4.1.2     | Auswirkungen des Trainings auf die Koordinationsleistung .....         | 66        |
| 4.1.3     | Bimanuelles Koordinationstraining und Generalisierungseffekte .....    | 67        |
| 4.2       | Schlussfolgerungen und Ausblick .....                                  | 68        |
| <b>5</b>  | <b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>   | <b>71</b> |
| <b>6</b>  | <b>LITERATUR .....</b>   | <b>73</b> |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 7       | ANHANG .....   | 79 |
| 7.1     | Tabellen.....  | 79 |
| 7.1.1   | Tabellen zur Beidhandkoordination.....                   | 81 |
| 7.1.2   | Tabellen zur Neuromotorik.....                           | 86 |
| 7.1.3   | Tabellen zur Regressionsanalyse .....                    | 87 |
| 7.2     | Beispiele.....   | 88 |
| 7.3     | Instruktionen für die Beidhandkoordinationsaufgaben..... | 90 |
| 7.3.1   | Standardisierung der Untersuchungssituation.....         | 90 |
| 7.3.2   | Instruktionen für Block 1 .....                          | 90 |
| 7.3.2.1 | Rotationsbedingung A1 .....                              | 90 |
| 7.3.2.2 | Rotationsbedingung A2 .....                              | 91 |
| 7.3.3   | Instruktionen für Block 2 und 3 .....                    | 91 |
| 7.3.3.1 | Spiegelbildliche Rotationsbedingungen B1, B2 .....       | 91 |
| 7.3.3.2 | Asynchrone Rotationsbedingungen C1, C2 .....             | 91 |
| 7.3.3.3 | Parallele Rotationsbedingungen D1, D2.....               | 92 |
| 7.4     | Fragebogen.....  | 93 |

# 1 Theorie

## 1.1 Einleitung

Die Entwicklung eines Kindes spiegelt sich in besonders augenfälliger Masse in den Fortschritten wider, die es in seinen motorischen Fähigkeiten macht. Dabei ist nicht nur von Interesse, wie die Fähigkeiten im Entwicklungsverlauf aufeinander aufbauen, sondern auch wodurch Kinder motiviert werden, eine neue motorische Fertigkeit zu erlernen, beziehungsweise eine schon vorhandene auszubauen und zu verfeinern.

Beidhandkoordination ist eine komplexe motorische Fähigkeit, deren Entwicklung und Differenzierung nach bisherigem Kenntnisstand mindestens das gesamte erste Lebensjahrzehnt andauert. Unterschiede in der bimanuellen Koordinationsfähigkeit zwischen Kindern während der Entwicklung werden oft durch Unterschiede in der Reifung des sensomotorischen Systems erklärt. So zeigen verschiedene Untersuchungen, dass jüngere Kinder noch deutlich mehr Schwierigkeiten haben, Bewegungskopplungen, insbesondere zwischen den oberen Extremitäten, zu überwinden als ältere Kinder. Auch unter gleichaltrigen Kindern gibt es grosse Unterschiede in der Koordinationsfähigkeit, so dass angenommen werden kann, dass Übung eine Rolle im Reifeprozess spielen muss.

In meiner Untersuchung zur Entwicklung koordinativer Fähigkeiten der Arme und Hände (Höfler-Weber, 1996) zeigten 4-6jährige Kinder eine grosse Lernbereitschaft, auch für schwierige und neuartige Aufgaben. Wider Erwarten war bereits im Vergleich zwischen der ersten Leistungserhebung und der Wiederholungstestung bei allen Kindern ein Lernfortschritt nachweisbar. Es stellt sich deshalb die Frage, ob die Entwicklung einer komplexen sensomotorischen Fähigkeit, wie der Beidhandkoordination, durch ein intensives Training noch effektiver gefördert werden kann.

Erkenntnisse über die Trainierbarkeit koordinativer Fähigkeiten können auch für den klinischen Bereich von Bedeutung sein: Aus Literatur und klinischer Praxis ist bekannt, dass Kinder mit Teilleistungsstörungen, die sich auf schulisches Lernen auswirken, in einem erhöhten Masse neuromotorische Auffälligkeiten zeigen. Diese äussern sich als sogenannte „neurologic soft signs“ in Form von vermehrten Mitbewegungen, graphomotorischen Auffälligkeiten und Koordinationsschwierigkeiten. Einige Studien haben bei einem Teil der Kinder und Erwachsenen mit Entwicklungsdyslexien typische Auffälligkeiten in der Ausführung bimanueller Koordinationsaufgaben gefunden. Ein gezieltes Training könnte bei dieser Patientengruppe einen therapeutischen Ansatz darstellen.

## 1.2 Problemstellung

Ein Training, das die motorische Entwicklung fördern will, muss verschiedene Voraussetzungen erfüllen:

- Es muss auf den vorhandenen Fähigkeiten des Kindes aufbauen und deshalb zum richtigen Zeitpunkt während der Entwicklung durchgeführt werden.
- Das Training muss dazu geeignet sein, durch entsprechende Aufgabenstellungen eine breite Wirkung zu entfalten.
- Die Aufgaben müssen altersentsprechend und motivierend gestaltet sein.

Untersuchungen an Säuglingen und Kleinkindern (Fitzpatrick et al., 1996; Vereijken & Thelen, 1996) deuten darauf hin, dass in der motorischen Entwicklung des Kindes mangelnde Stabilität eines Bewegungsmusters Ausdruck einer erhöhten Bereitschaft zur Differenzierung des Musters ist. Trainiert werden müsste demnach in einer Entwicklungsphase, in der Kinder eine hohe Variabilität ihrer Fähigkeiten zeigen. Um auf den vorhandenen Fähigkeiten des Kindes aufbauen und den richtigen Zeitpunkt für ein Training wählen zu können, müssen auch parallele Entwicklungsverläufe einbezogen und ihr Zusammenwirken mit der Entwicklung der koordinativen Fähigkeiten untersucht werden. Für die Koordinationsentwicklung bei Kindern gibt es dazu bisher keine Studien. Schon frühe Studien an Erwachsenen (Fleishman, 1954; Fleishman & Rich, 1963) weisen jedoch darauf hin, dass psychomotorische und kinästhetische Faktoren sowie visuell-räumliche Aufmerksamkeit einen Einfluss auf den Neuerwerb koordinativer Fertigkeiten haben.

Die bisher angewandten Methoden und Instrumente zur Untersuchung der Beidhandkoordination bei Kindern sind häufig nicht geeignet, kontinuierliche Koordinationsbewegungen zu erfassen. Bei dem originalen oder modifizierten Kinderspielzeug „etch a sketch“ (vgl. Moore et al., 1995; Steese-Seda et al., 1995) müssen die Drehknöpfe z. B. während eines Aufgabendurchganges immer wieder neu ergriffen werden. Andere Autoren verwendeten repetitive Aufgaben wie Fingertapping (Wolff et al., 1998) oder Klatschen (Fitzpatrick et al., 1996). Kontinuierliche bimanuelle Bewegungen sind hingegen komplex, komplementär und zielgerichtet. Wie diese komplexe sensomotorische Leistung in einem Test abgebildet werden kann, der auch testökonomischen Anforderungen genügt, ist eine offene Frage.

Im folgenden gehe ich auf die Grundlagen der Beidhandkoordination, auf Forschungsbefunde zu ihrer Entwicklung und auf Zusammenhänge mit der Entwicklung der Neuromotorik und Aufmerksamkeit ein.

## 1.3 Bimanuelle Koordination: Grundlagen

### 1.3.1 Definitionen

Mit bimanueller Koordination (synonym für Beidhandkoordination) ist die Fähigkeit gemeint, mit beiden Armen und Händen gleichzeitig sowohl räumlich als auch zeitlich voneinander unabhängige, aber trotzdem fein aufeinander abgestimmte zielgerichtete Bewegungen ausführen zu können (vgl. auch Walter et al., 1997). Dieses Verhalten tritt bei vielen alltäglichen Aktivitäten auf, z.B. beim Essen mit Messer und Gabel, beim Schneiden mit der Schere oder mit besonders hohen Anforderungen an die Koordinationsfähigkeit beim Klavierspielen.

Bewegungskoordination erfordert eine Kooperation von zwei oder mehreren motorischen Systemen, die simultane, aufeinander abgestimmte, und in Raum und Zeit sowohl abhängige als auch unabhängige Bewegungen ermöglicht. Es gibt verschiedene Arten von Koordinationsbewegungen der Arme und Hände. Die Bewegungen können simultan, alternierend oder sequentiell sein. Sie können symmetrisch in Bezug auf die Körperachse sein, symmetrisch zueinander oder asymmetrisch, d.h. beide Hände tun Verschiedenes.

Fagard (1991) bezeichnet die bimanuelle Koordination als interessantes Beispiel für eine komplexe, aus vielen Bewegungen bestehende Koordinationsleistung. Verschiedene Effektorgruppen müssen zusammenarbeiten und es können natürliche Beschränkungen in dieser Zusammenarbeit beobachtet werden, z. B. bei dem Versuch mit beiden Armen gleichzeitig, aber in unterschiedlicher Geschwindigkeit kreisende Bewegungen zu realisieren.

Unter der Entwicklungsperspektive betrachtet bedeutet Beidhandkoordination die Fähigkeit, flexibel auf sich ständig ändernde Umwelтанforderungen unter den Bedingungen des neuromotorischen Systems zu antworten (Wolff et al., 1998).

### 1.3.2 Funktionelle Konzepte und Modellvorstellungen

Bernstein (1967) war der erste, der Bewegung als eine Kooperation, ein Zusammenspiel vieler Körperteile zur Hervorbringung eines einzigartigen Ergebnisses definiert hat. Sein Konzept der „Reduktion von Freiheitsgraden“ sieht vor, dass Bewegungen auf einem relativ hohen abstrakten Niveau geplant, initiiert und kontrolliert werden müssen, um nicht alle Gliedmassen, Muskeln und Gelenke, die an einem komplexen Bewegungsablauf beteiligt sind, getrennt kontrollieren zu müssen. Durch die Verknüpfung von Bewegungen zu einer koordinativen Struktur wird die Anzahl der Freiheitsgrade so reduziert, dass nur noch eine „Einheit“ („unit“) verarbeitet werden muss (vgl. Helmstaedter, 1991).

Kelso und Mitarbeiter (1979, 1983) definieren die koordinativen Strukturen als eine funktionale Gruppierung von Muskeln, die gezwungen sind, als eine einzige Einheit in

einer gegebenen Aufgabe zu funktionieren. Dies führt zu einer Gleichzeitigkeit von Bewegung in den beiden Gliedern. Die zugrundeliegenden zeitlichen Strukturen bleiben zwischen beiden Händen invariant, so dass sie eine synchrone Beziehung zueinander aufrechterhalten. Befunde von Marteniuk und Mitarbeitern (1984) zeigen aber entgegen der Annahme von Kelso, dass es in der zeitlichen und räumlichen Organisation zu einer Interaktion zwischen beiden Händen kommt, wenn die Hände gleichzeitig unterschiedliche Anforderungen erfüllen müssen. Es kommt jeweils zu einer Angleichung der Bewegungsausführung in beiden Händen. Muss z. B. eine Hand zur gleichen Zeit einen kürzeren Weg zurücklegen als die andere Hand, so schießt sie über das Ziel hinaus. In vielen Untersuchungen werden zudem Rechts-Links-Asymmetrien gefunden. (vgl. Peters, 1994).

Das „Modell der Funktionalen Distanz“ von Kinsbourne und Hicks (1978) besagt, dass gleichzeitige unabhängige Bewegungen beider Arme um so schwieriger zu realisieren sind, je näher – funktionell und räumlich – die Zentren im Gehirn beieinander liegen, von denen die Impulse zu einer Bewegung ausgehen. Es kommt zu einer Mitinnervation dieser Gebiete, die nur durch Hemmprozesse reduziert werden kann. Das heißt, je ähnlicher die motorische Aktivität beider Glieder ist, desto größer sind die dabei auftretenden Interferenzen (Swinnen & Walter, 1988).

### *1.3.3 Strukturelle Vorgaben*

Einige Arten von Koordination sind schwer oder sogar unmöglich auszuführen, z. B. gleichzeitig mit dem einen Arm einen Kreis und mit dem anderen ein Rechteck in der Luft zu beschreiben. Die Beschränkungen in der Ausführung von Koordinationsbewegungen werden einerseits durch solche willkürlichen Vorgaben einer Aufgabe hervorgerufen, andererseits gibt es natürliche strukturelle Grenzen im Bereich von Koordinationsmustern.

Heuer (1994, S. 149) spricht von zwei Einsichten, die sich aus der Unterscheidung zwischen Aufgabenanforderung und strukturellen Vorgaben ergeben: „Erstens, die Koordination ist zu einem grossen Teil durch den Zweck (oder das gewünschte Ergebnis) einer Handlung bestimmt, aber in der Regel nicht eindeutig. Strukturelle Vorgaben der ‚härteren‘ oder ‚weicheren‘ Art tragen dann zur Auswahl eines bestimmten Koordinationsmusters bei, das ausgeführt wird. Zweitens, Koordination ist durch lockere Zusammenhänge gekennzeichnet, die durch Anstrengung und Übung überwunden werden können, und sie kann verschiedene Erscheinungsformen annehmen“.

Die strukturellen Vorgaben sollen eine Art evolutionäres Erbe darstellen zur Bewältigung fundamentaler Bewegungsformen wie Fortbewegung oder Werkzeuggebrauch. Die motorischen Systeme, die flexible und anspruchsvolle Bewegungsformen wie Schreiben oder Klavierspielen ermöglichen, haben sich nach dieser Annahme langsam nach dem Prinzip entwickelt, dass „niedere Ebenen des Nervensystems von höheren überlagert werden, so dass die Flexibilität des Verhaltens durch eine Modulation der niederen Systeme erhöht wird“ (Heuer, S. 150). Daran wird die Annahme geknüpft, dass phylogenetisch alte Hirnstrukturen, motorische Kerngebiete, der Hirnstamm oder spinale Bahnen Reflexmuster realisieren, deren Abschwächung und Modulation durch

neokortikale Strukturen geschieht (Preilowski, 1975). Untersuchungen von Preilowski (1972; 1975) an Patienten, denen die vordere Kommissur und die anterioren Anteile des Balkens zur Behandlung einer schweren, behandlungsresistenten Epilepsie durchtrennt worden waren, belegen diese Annahmen. So hatten Patienten, die einer komplexen Aufgabenstellung an einem Zweihandkoordinationsgerät unterzogen wurden, Schwierigkeiten, synchrone bilaterale Bewegungen aufrechtzuerhalten. Die Geschwindigkeit der Bewegung beider Hände war unterschiedlich, so dass ein wellenförmiger Bewegungsverlauf zustande kam. Asynchrone Bewegungen waren noch schwerer auszuführen als synchrone. Preilowskis Studien zeigten weiter, dass spiegelbildliche Bewegungen unter Beteiligung homologer Muskelgruppen leichter waren als parallele Bewegungen unter Beteiligung heterologer Muskelgruppen.

Es gibt eine Tendenz zur Koaktivierung bestimmter Muskelgruppen. Cohen (1971) beobachtete bei Erwachsenen eine deutliche Kopplung homologer Muskeln bei simultanen Bewegungen beider Hände. Bei gleichzeitiger Aktivität nicht-homologer Muskelgruppen wurden – als Ausdruck von Interferenzen – langsamere Durchführungszeiten beobachtet. MacKay & Soderberg (1971) zeigten, dass das Ausmass der homologen Kopplung auf die Bewegung zweier Glieder von der zur Verfügung stehenden Durchführungszeit abhängig ist. Bei langsamen gleichzeitigen Bewegungen der Glieder wirkt die Muskelkopplung weniger restriktiv als bei schnellen. Dies ist die Begründung für die experimentelle Bedingung unter Geschwindigkeitsinstruktion, die in den meisten Untersuchungen zur Beidhandkoordination gewählt wird.

Kelso, Southard & Goodman (1979) beleuchteten in ihren Untersuchungen den zeitlichen Aspekt der Kopplung. Sie haben gezeigt, dass Geschwindigkeit und Beschleunigung von beidhändigen Bewegungen praktisch perfekt aufeinander abgestimmt werden, auch dann, wenn im Verlauf der Bewegung beide Hände ein unterschiedliches Tempo haben. Die Autoren schließen daraus, dass das Gehirn als optimale Lösung für beidhändige Aufgaben eine Gleichzeitigkeit der Aktivität produziert, indem es funktional zusammenhängende Muskelgruppen so organisiert, dass sie gezwungen sind, als eine Einheit zu funktionieren. Um dennoch mit beiden Armen gleichzeitige Bewegungen unterschiedlicher Geschwindigkeit ausführen zu können, ist nach Swinnen & Walter (1988) ein Lernprozess notwendig.

Die strukturellen Vorgaben rufen also für verschiedene koordinative Bewegungsanforderungen unterschiedlich starke Kopplungen in der Bewegungsausführung hervor. Die Tendenz zur Synchronisation von Bewegung (zeitliche Kopplung) scheint dabei ein besonders stabiles Phänomen zu sein, wohingegen die Muskelkopplung (homologe Kopplung) ein transientes Phänomen zu sein scheint (Heuer, 1986).

### *1.3.4 Neuronale Grundlagen*

Preilowski (1972, 1975, 1987) betont in seinen Studien die Bedeutung der Hirnreifung für eine Minimalisierung des Konflikts zwischen ipsilateralen und contralateralen sensorischen und motorischen Bahnen mithilfe inhibitorischer Mechanismen. Im Zusammenhang mit der Kopplung bimanueller Bewegungen ist die Funktion der interhemisphärischen Verbindungen von Bedeutung. Dem Corpus callosum wird zur

Überwindung der Bewegungskopplung modulierende Funktion in der Koordination der Extremitäten zugeschrieben. Unter anderem könnte die direkte interhemisphärische Verbindung eine Hemmung ipsilateraler Impulse bei der Bewegungssteuerung ermöglichen. Im „Modell der Tendenz zu spiegelbildlichen Bewegungen“ nimmt Preilowski (1975) an, dass ungekreuzte nervöse motorische Fasern eine spiegelbildliche Repräsentation des aktuellen Bewegungsmusters enthalten (Abb. 1.1). Das heisst, dass bei Aktivität einer Körperseite die homologen Muskelgruppen der gegenüberliegenden Körperseite diese Aktivität spiegeln, womit der wiederkehrende Befund erklärt werden kann, dass parallele Bewegungen langsamer und fehlerhafter realisiert werden als spiegelbildliche (vgl. auch Cohen, 1971; Jeeves et al., 1988; Kelso et al., 1983). Grundlage dieser Annahme ist, dass etwa 10% der corticospinalen Fasern nicht über die Pyramidenkreuzung auf die Gegenseite wechseln, sondern ungekreuzt im lateralen corticospinalen Trakt zum Rückenmark verlaufen.

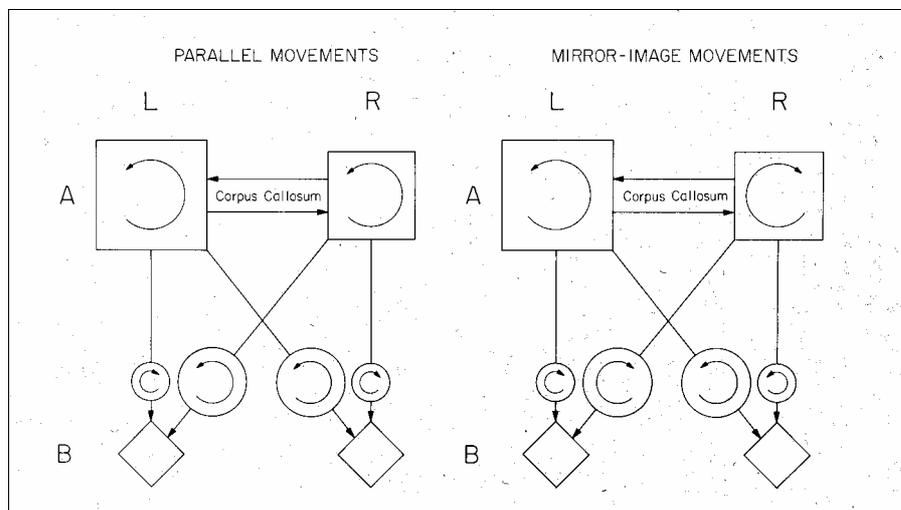


Abbildung 1.1 Modell der Tendenz zu spiegelbildlichen Bewegungen (aus Preilowski 1975)

Funktionelle bildgebende Verfahren (fMRI, PET oder MEG) erlauben seit kurzem die anatomisch aufgezeichnete Visualisierung von Hirnaktivität, die für bimanuelle Koordination spezifisch ist (Cardoso de Oliveira, 2002). Gerloff & Andres (2002) trainierten mit erwachsenen Versuchspersonen einhändige, beidhändige, synchrone und asynchrone sequentielle Fingerbewegungen. Mittels spezieller EEG-Analysen der gewonnenen Daten belegten sie, dass die funktionelle interhemisphärische Kopplung zwischen den prämotorischen, sensomotorischen und posterioren parietalen Regionen während der Erwerbsphase einer neuen beidhändigen Fertigkeit verstärkt wird und nach einem intensiven Training wieder auf ein Ausgangsniveau zurückkehrt. Die überlernten Koordinationsaufgaben führten dann nicht mehr zu verstärkter interhemisphärischer Aktivität. Die Autoren sehen darin einen Beweis für die Vorstellung, dass die ursprünglich verstärkte interhemisphärische Kopplung ein neurophysiologisches Korrelat aktiver bimanueller Integration darstellt.

Der primäre motorische Cortex spielt für die Kodierung von Bewegung, für die Bewegungsinitiierung, aber auch für abstraktere Repräsentationen zur Vorstellung oder zeitlichen Planung von Bewegungsabläufen eine entscheidende Rolle. Neuere Befunde sprechen dafür, dass der motorische Cortex in jeder Hemisphäre überlappende Reprä-

sentationen von beiden Armen enthält (vgl. Cardoso de Oliveira, 2002). Reine Hand- und Fingerbewegungen werden hingegen ausschliesslich von der contralateralen Hemisphäre gesteuert (vgl. Wiesendanger et al., 1994).

Die supplementär-motorischen Areale (SMA) im medialen frontalen Cortex haben eine spezielle Bedeutung für die bimanuelle Koordination. Das SMA jeder Hemisphäre projiziert sowohl zu den homologen Orten des ipsilateralen als auch contralateralen primären motorischen Cortex und wird mit der Vorbereitung von Bewegung assoziiert (Goldenberg, 1985). So kann das Bereitschaftspotential vor der Ausführung einer Bewegung zuerst über dem Gebiet des SMA abgeleitet werden (Wiesendanger et al., 1994). Während bimanueller Aktivität ist die neuronale Aktivität in dem SMA erhöht, deutlicher bei asymmetrischen im Gegensatz zu spiegelbildlichen Bewegungen. Weiter enthält dieses Gebiet spezifische Neuronengruppen, die nur bei beidhändigen Bewegungen aktiviert werden, nicht bei einhändigen (Cardoso de Oliveira, 2002).

## 1.4 Entwicklung der Beidhandkoordination

### 1.4.1 *Forschungsbefunde*

In der motorischen Entwicklung des Kindes ist deutlich zu beobachten, dass frühe primitive Reflexe allmählich von funktionell adäquateren Bewegungsmustern überlagert werden. Strukturelle Vorgaben werden mit der Hirnreifung sozusagen aufgeweicht (Heuer, 1994). Dies stimmt mit Befunden von Yakovlev & Lecours (1967) überein, die zeigen, dass die Myelinisierung der Fasern des Corpus callosum sowie die Myelinisierung intracortikaler Fasern – der Verbindungen zwischen Arealen innerhalb einer Hemisphäre, z. B. zwischen supplementär und primär motorischem Areal, – vor dem zehnten Lebensjahr noch nicht abgeschlossen sind. Somit muss angenommen werden, dass die Reifung dieser Faserstrukturen eine Grundlage für die Fortschritte in der Koordinationsfähigkeit eines Kindes während seiner Entwicklung darstellt. Jeeves und Mitarbeiter (1988b) haben deshalb die Schwierigkeiten von Kindern, komplexe Koordinationsbewegungen auszuführen, einmal mit den Schwierigkeiten von Menschen mit fehlender Balkenanlage verglichen.

Bisher gibt es keine zusammenhängende Beschreibung des Entwicklungsverlaufes der bimanuellen Koordination. Fragestellungen in der Forschungsliteratur beschäftigen sich mit Teilaspekten, z. B. mit der Rolle des interhemisphärischen Transfers für die Entwicklung der Beidhandkoordination (Fagard et al., 2001; Jeeves et al., 1988a; Jeeves et al., 1988b, Steese-Seda et al., 1995), mit den Beschränkungen durch strukturelle Vorgaben und deren Veränderung in der kindlichen Entwicklung (Fagard, 1987, 1991; Fagard et al., 1985; Fitzpatrick et al., 1996; Southard, 1985; Wolff et al., 1998), mit der Rolle der Händigkeit (Fagard & Pezé, 1992), oder mit frühen Koordinationsmustern beim Greifen und Gehen des Säuglings und Kleinkindes (Corbetta & Thelen, 1994, Fagard, 1994; Vereijken & Thelen, 1996).

In verschiedenen Studien zur Beidhandkoordination bei Kindern haben Fagard und Mitarbeiter (1985, 1987, 1992) Alterseffekte gefunden, die mit den bisher erläuterten Befunden und Modellvorstellungen aus der Erwachsenenforschung übereinstimmen. Die Versuchspersonen wurden mit einem adaptierten, von Preilowski (1972) entwickelten Zweihandkoordinationsgerät untersucht. Bei 5-9jährigen Kindern ergaben sich signifikant bessere Leistungen, wenn spiegelbildliche Bewegungen gefordert wurden, als bei der Forderung nach parallelen Bewegungen. In den parallelen Bewegungsbedingungen kam es häufiger zu Richtungswechseln, indem die Kinder zum spiegelbildlichen Bewegungsmuster zurückkehrten oder die Arme alternierend bewegten. Waren gleichzeitige, aber mit jeder Hand unterschiedlich schnelle Bewegungen gefordert, trat über alle Altersstufen hinweg eine starke Tendenz zu synchroner Aktivität auf (Fagard, Morioka & Wolff, 1985; Fagard, 1987).

Fitzpatrick und Mitarbeiter (1996) beschreiben den Verlauf der Entwicklung der Koordinationsmuster so: Frühe Bewegungen beim Säugling sind in Form einer „rudimentären Koordination“ noch stark gekoppelt (vgl. auch Corbetta & Thelen, 1994). Wenn das Kind neue zielgerichtete Bewegungen entdeckt, wird diese Kopplung abgeschwächt und entwickelt sich schliesslich zu einer qualitativ anderen, aber wieder stärker gekoppelten Koordination, die komplizierte, rhythmische und komplexe räumliche und zeitliche Anforderungen sowie bestimmte Intentionen einer Bewegung erfüllen muss.

Kleine Kinder zeigen nicht dieselbe Konsistenz in ihren Beidhandkoordinationsmustern wie Erwachsene. Fitzpatrick und Mitarbeiter (1996) wiesen in ihren Experimenten nach, dass die Koordinationsleistung von Kindern während eines Bewegungsdurchganges nicht konstant ist. Konnten 3-7jährige Kinder nach frei gewähltem Tempo klatschen, war das Klatschmuster der jüngeren Kinder variabler und weniger koordiniert. Die Autorinnen charakterisieren deshalb das Klatschmuster der jüngeren Kinder als „relative Koordination“, d.h. als schwach koordiniertes System. In Übereinstimmung damit fand Southard (1985) in einer Untersuchung von 5-14jährigen Kindern, dass nicht nur die zeitliche Unabhängigkeit gleichzeitiger bimanueller Bewegungen altersabhängig zu sein scheint, sondern dass auch eine vollständige Gleichzeitigkeit der Bewegung vor dem zehnten Lebensjahr nicht beobachtbar ist, d.h. die simultanen Bewegungen beider Hände verlaufen nicht in gleicher Phase.<sup>1</sup>

Robertson (2001) hat bei 4-10jährigen Kindern bevorzugte bimanuelle Koordinationsmuster direkt untersucht, indem sie in ihren Experimenten die Bewegungen der Versuchspersonen nicht durch die Aufgabe manipuliert hat, sondern frei wählen liess. Die Kinder zeichneten einhändig und beidhändig Kreise mit dem Zeigefinger, ohne ein Feedback über ihre Leistung zu erhalten. Die Bewegungen aller Versuchspersonen resultierten in einer zeitlichen Kopplung, d.h. beide Hände bewegten sich gleich schnell.

---

<sup>1</sup> Das Modell der Phasenkopplung für oszillierende Bewegungen (Kelso et al., 1983; Kelso, 1995), eine dynamische Perspektive von motorischer Kontrolle, beschreibt die Koordination von zwei Oszillatoren (z. B. schwingende Armbewegungen) durch die Differenz zwischen den jeweiligen Phasenwinkeln des rechten und linken Armes während einer beidhändigen Bewegung. Spiegelbildliche Bewegungen, als „in-phase“-Muster bezeichnet, stellen einen starken Anziehungspunkt für die Koordinationsbewegung dar, wohingegen parallele Bewegungen, ein „anti-phase“-Muster, weniger natürlich sind. Generell bezieht sich der Begriff der Phasenkopplung auf eine Tendenz zu einer bestimmten relativen Lage der Bewegung in der Zeit. Einen Überblick gibt Heuer (1994). Nach diesem Modell ist Klatschen ein einfaches Beispiel für ein „in-phase“-Koordinationsmuster.

Dabei produzierten die jüngeren Kinder grössere Kreise, bewegten die Finger langsamer und zeigten allgemein eine grössere Variabilität im zeitlichen Verlauf. Eine höhere Bewegungsgeschwindigkeit führte zu stabileren Bewegungsmustern.

### *1.4.2 Exkurs: Motorisches Lernen während der Entwicklung*

„Learning (...) occurs as a specific modification of already existing behavioral patterns in the direction of the task to be learned” (Kelso, 1995, p. 161). Lerneffekte zeigen sich immer in Richtung der zu lernenden Fähigkeit, und die Fähigkeit selbst wird weniger variabel. Der Lernprozess an sich ist sehr komplex. Er wird selten unmittelbar beobachtet, sondern meist aus Zusammenhängen mit den Veränderungen, die während des Übens auftreten, geschlossen.

Die motorische Entwicklung des Kindes widerspiegelt nicht einfach die fortschreitende Hirnreifung im Sinne eines 1:1-Prozesses. Motorische Entwicklung ist vielmehr das Ergebnis eines komplexen Wechselspiels zwischen Verhalten, Wahrnehmung und Verarbeitung (Thelen, 1995). Das Erlernen eines neuen Bewegungsmusters wird nach dieser Vorstellung durch die Anforderungen einer neuen Aufgabe motiviert und in der Auseinandersetzung mit dieser Aufgabe angeeignet. Die Hirnreifung ist also nur ein Faktor in diesem Prozess. Wichtiger Beleg für diese Sichtweise ist die enorme Variabilität in den Fähigkeiten von kleinen Kindern. Unter dieser Betrachtung ist insbesondere die Frage interessant, durch welche Anforderungen oder Motivation ein Kind in die Lage gebracht wird, sein Bewegungsmuster zu ändern.

Schon Untersuchungen früher Koordinationsmuster weisen darauf hin, dass die Stabilität eines Bewegungsmusters etwas über den Entwicklungsstand aussagt. Vereijken & Thelen (1996) entdeckten, dass die Schrittmuster von 3 und 7 Monate alten Babys individuell sind, und ein Lauftraining grössere Effekte bei Kindern mit instabilem Schrittmuster hatte. Darüber hinaus interagierte der Übungseffekt mit den individuellen Bewegungsvorlieben der Kinder vor Trainingsbeginn, indem diese verstärkt wurden. Die Autorinnen der Studie gehen davon aus, dass die Ausformung eines neuromotorischen Musters zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung vielschichtig determiniert ist. Durch spezifisch angereicherte Erfahrung oder durch Training, kann das neuronale Substrat, z. B. die neuronalen Bahnen für Koordinationsbewegungen, das die spätere Ausformung des Bewegungsmusters beeinflusst, gestärkt oder modifiziert werden. Die neuronale Basis für das Erlernen neuer Fertigkeiten ist die enorme Kapazität des Gehirns für schnelle funktionelle Reorganisation (Kelso, 1995).

#### *1.4.2.1 Lernaufgaben*

Lernaufgaben eignen sich also zur Klärung der Bedingungen, die für den Erwerb einer neuen Fähigkeit günstig sind, und um zu verstehen, was sich während des Lernens verändert. Bimanuelle Koordinationsaufgaben, die kontinuierliche, aber in zeitlich-räumlichen Aspekten unterschiedliche Bewegungen der Glieder erfordern, eignen sich besonders gut, um natürliche Beschränkungen und Tendenzen im Bewegungsmuster zu untersuchen (Walter et al., 1997).

In einem Beidhandkoordinationstraining konnten Fagard und Mitarbeiter (1985) zeigen, dass 7jährige Kinder noch stark vorherrschende Bewegungskopplungen nach einem relativ kurzen Training lockern können. In vier Sitzungen übten 7jährige Kinder und Erwachsene gleichzeitige parallele Drehbewegungen synchron oder mit unterschiedlicher Geschwindigkeit des rechten und linken Armes. In allen Bewegungsbedingungen verbesserten sich die Leistungen bedeutsam, die Kinder erreichten jedoch in keiner Bewegungsbedingung am Ende des Trainings ein Leistungsplateau im Gegensatz zu den Erwachsenen. Insgesamt blieben die Leistungsunterschiede zwischen den Bewegungsbedingungen bei den Kindern während allen Sitzungen konstant. Die Aufgaben mit synchroner Bewegung beider Arme wurden von allen Teilnehmern schneller und genauer durchgeführt. Differentielle Effekte zwischen den Bewegungsbedingungen synchron versus asynchron konnten nur im Vergleich zwischen der ersten und zweiten Sitzung abgebildet werden, indem die Kinder in den Bedingungen, in denen sich eine Hand schneller als die andere Hand bewegt, keine Verbesserung erzielten. Offen bleibt, was die Kinder während des Trainings gelernt hatten.

## 1.5 Faktoren für die Beidhandkoordination und ihre Entwicklung

### 1.5.1 Neuromotorische Entwicklung

Die Reduktion von Mitbewegungen im Verlauf der motorischen Entwicklung ist ein Ausdruck integrierter Sensomotorik und bildet damit auch die Grundlage für eine flüssige Koordination. Mitbewegungen oder assoziierte Bewegungen sind motorische Ausstrahlungen, die eine gewollte Bewegung begleiten, aber ausserhalb der bewussten Wahrnehmung liegen und für die gewollte Bewegung unnötig sind (Wolff et al., 1983). Bei der Hemmung der Aktivitätsausbreitung während zielgerichteter Bewegungen wird der Funktion des Corpus callosum eine entscheidende Rolle zugeschrieben (Kinsbourne & Hicks, 1978; Swinnen & Walter, 1988; vgl. auch Kap. 1.3.4). Mit zunehmender Myelinisierung dieser Faserstruktur und der intracortikalen Verbindungen als Ausdruck neuronaler Reifung werden unwillkürliche Mitbewegungen immer effektiver gehemmt.

Todor und Lazarus (1986) unterscheiden 3 Arten von assoziierten Bewegungen:

1. spiegelbildliche Bewegungen oder imitative Bewegungen, hervorgerufen durch nicht-willentliche Aktivität der symmetrischen homologen Muskeln auf der kontralateralen Körperseite.
2. Mitbewegungen im aktiven Körperteil, hervorgerufen durch proximale Muskelaktivität bei willentlichen Bewegungen des distalen Körperteils, z. B. wenn bei Ausführung der Diadochokinese der Ellbogen gehoben und gesenkt wird.
3. Die Ausbreitung von Beuge- oder Streckbewegungen von einem Körperteil auf einen anderen, z. B. wenn das Gehen auf den Zehenspitzen zu einem nach hinten Strecken der Arme führt.

Häufigkeit und Intensität von Mitbewegungen reduzieren sich als Funktion des Lebens- bzw. Entwicklungsalters (Cohen et al., 1967; Conolly & Stratton, 1968; Largo et al., 2001a/b; Lazarus & Todor, 1987; Todor & Lazarus, 1986; Wolff et al., 1983). Zwischen 5 und 18 Jahren zeigt das Auftreten von assoziierten Bewegungen einen nicht-linearen Entwicklungsverlauf. Zeitpunkt und Ausmass ihrer Reduktion hängen von der Komplexität der motorischen Anforderung ab. Repetitive Hand- und Fingerbewegungen reduzieren sich schon erheblich im frühen Schulalter, während Mitbewegungen bei alternierenden oder sequentiellen Fingerbewegungen bis in die Pubertät abnehmen. Vor allem zwischen 5 und 7 Jahren ist die Variabilität im Ausmass auftretender Mitbewegungen sehr hoch (Largo et al., 2001b), was dafür spricht, dass in dieser Altersstufe eine erhöhte Bereitschaft für die Ausdifferenzierung feinmotorischer und koordinativer Fertigkeiten vorhanden ist.

Spiegelbildliche Mitbewegungen haben einen Einfluss auf die koordinativen Bewegungen der oberen Extremitäten, indem sie die weitgehende Unabhängigkeit beider Glieder bei gleichzeitigen Bewegungen behindern. Proximale Mitbewegungen im aktiven Körperteil, z. B. erhöhte Muskelspannung des Schulter-Arm-Bereichs bei Aktivität der Hände, beeinträchtigt die Flüssigkeit einer kontinuierlichen Bewegung zusätzlich (vgl. die Beobachtungen in der Arbeit von Höfler-Weber, 1996). Man könnte deshalb erwarten, dass ein Koordinationstraining zur besseren Inhibition von Mitbewegungen führt und damit eine Voraussetzung zur Bewegungsdifferenzierung geschaffen wird.

#### *1.5.1.1 Motorische Entwicklungsstörungen und Beidhandkoordination*

Kinder mit „neurologic soft signs“ (Bezeichnung für Abweichungen in den motorischen, sensorischen und integrativen Funktionen, die keine Anzeichen lokalisierter Hirnstörungen aufweisen, vgl. Breslau et al., 2000) zeigen signifikant häufiger und in einem nicht mehr altersentsprechenden Ausmass assoziierte Bewegungen (Denckla & Roeltgen, 1992). Die Bedeutung der „soft signs“ ist bis heute allerdings unklar. Michaelis & Niemann (1999, S. 113) sind der Meinung, es handle sich dabei um „nichts anderes (...) als ‘sensomotorische Lernstörungen’, also zentrale Verarbeitungsstörungen der Bewegungsabläufe und ihrer efferenten und afferenten Kontrollmechanismen.“

Waber et al. (2000) untersuchten die motorische Koordination von 96 Kindern mit verschiedenen Lernstörungen. Sie fanden einen allgemeinen Zusammenhang zwischen Lernstörung und Auffälligkeiten in der präzisen zeitlichen Steuerung in bimanuellen Koordinationsaufgaben. Diese Befunde waren nicht spezifisch für Kinder mit Lesestörungen, wie dies in anderen Arbeiten angenommen wurde (Fawcett & Nicolson, 1995; Gladstone et al., 1989; Moore et al., 1995; Rousselle & Wolff, 1991; Wolff et al., 1990). In dieser Frage gibt es neuerdings Hinweise auf eine genetische Komponente. Wolff (1999) fand unter Personen mit Entwicklungsdyslexie solche mit und solche ohne motorische Auffälligkeiten. Die einzige Variable, die zwischen beiden Gruppen unterschied, war die Tatsache, dass alle Dyslektiker mit motorischen Problemen aus Familien kamen, in denen motorische Probleme seit mindestens zwei Generationen nachgewiesen werden konnten.

## 1.5.2 Aufmerksamkeitsfaktoren

In verschiedenen Untersuchungen (z. B. Conolly & Stratton, 1968; Wolff et al., 1983) wurden bedeutsame Zusammenhänge zwischen motorischer Ungeschicklichkeit und verminderter Aufmerksamkeit nachgewiesen. Lazarus und Todor (1991) untersuchten die Rolle von Aufmerksamkeitsstrategien bei der Unterdrückung assoziierter Bewegungen bei 6-16jährigen Kindern. Sie konnten zeigen, dass alle Kinder in einem Training mit der „clip-pinching task“ (vgl. Todor & Lazarus, 1986) lernten, unwillkürliche kontralaterale Mitbewegungen zu hemmen, indem die Kinder durch Ruhighalten der passiven Hand dafür sorgten, dass ein Ton, der das Auftreten von Mitbewegungen anzeigte, nicht zu hören war. In einer Nachuntersuchung ohne auditive Rückmeldung über begleitende Mitbewegungen stieg das Ausmass der Mitbewegungen zwar wieder an, aber die Kinder zeigten unabhängig vom Alter signifikant weniger assoziierte Bewegungen als vor dem Training. Es gelang ihnen also durch Verschiebung der Aufmerksamkeit auf die passive Hand, die Aktivitätsausbreitung von der aktiven auf die passive Hand zu hemmen.

Aufmerksamkeit ist wesentlich für Wahrnehmung und Lernen. Sie wird durch Motivation und willentliche Prozesse gesteuert und hat die Funktion, eine Handlung in einer spezifischen Situation mit spezifischen Anforderungen, möglichst optimal zu kontrollieren und zu steuern. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass visuelle Rückmeldung und visuell-räumliche Aufmerksamkeit beim Erlernen einer neuen motorischen Fertigkeit wichtig sind (vgl. Fleishman & Rich, 1964; Preilowski, 1972). Müssen bei Doppeltätigkeiten („dual tasks“) zwei Handlungen gleichzeitig kontrolliert werden, muss die Aufmerksamkeit auf beide Handlungen gerichtet werden. Die visuelle Aufmerksamkeit wird dabei von einigen mit einem Scheinwerfer („spotlight“) verglichen: Die Aufmerksamkeit wird von einem bestimmten Reiz in Anspruch genommen, kann diesem aber wieder entzogen werden, um sie auf einen anderen Reiz zu richten. Andere benutzen das Bild eines Zoomobjektivs („zoom lens“), das alles sich im Blickfeld Befindliche simultan verarbeitet. Dabei wird das effizienter verarbeitet, was im Blickfeld konzentrierter ist (Brodeur, 1990).

Nicht nur die Ressourcenverteilung oder -zuteilung begrenzt die Aufmerksamkeit während einer Doppeltätigkeit. Zwischen beiden Aufgaben können auch Interferenzen auftreten. Eine Rolle spielt dabei, wie geübt die einzelnen Aufgaben sind, weil Übung zu einer Reduktion der Anforderungen an die Aufmerksamkeit, d.h. zu einer Automatisierung der Handlung, führt. McLeod (1977) weist nach, dass Interferenzen zwischen den beiden Aufgaben nur auftreten, wenn das Antwortsystem für beide Aufgaben dasselbe ist. Diese Voraussetzung trifft für Koordinationsaufgaben zu, die im wesentlichen als Doppeltätigkeiten angesehen werden, da jedes Körperlged eine eigene Kontrolle seiner Bewegung erfordert (Walter & Swinnen, 1994).

Auch die Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsstrategien ist altersabhängig. Im ersten Lebensjahr orientieren sich Kinder an Neuem und lernen, ihre Aufmerksamkeit aufrechtzuerhalten und von einem auf einen anderen Reiz zu verschieben. Während des Kleinkind- und Vorschulalters kann die Aufmerksamkeit durch Prozesse auf höherer Ebene zunehmend selektiver gesteuert werden. Kognitive Strategien werden angewandt und die Daueraufmerksamkeit entwickelt sich (Ruff & Rothbart, 1996). Einerseits wächst die Kapazität der Informationsverarbeitung und andererseits wenden Kinder

immer differenziertere Verfahren in der Zuteilung der Aufmerksamkeit an (Kaye & Ruskin, 1990).

Irwin-Chase und Burns (2000) fanden bei 8-11jährigen Kindern altersabhängige Leistungsverbesserungen bei Doppeltätigkeiten, die sie neben Verbesserungen in der Einzelleistung auch auf eine flexiblere und aufgabengerechte Ressourcenverteilung zurückführen konnten. Die jüngeren Kinder hatten vor allem Schwierigkeiten, ihre Aufmerksamkeit entsprechend den Prioritäten zu verteilen. Robertson (2001) schlägt vor, Fluktuationen in der Ausführung bimanueller Bewegungen bei Kindern auch mit Schwankungen in der Aufmerksamkeit in Verbindung zu bringen, die durch intentionale Prozesse hervorgerufen werden und zu sporadischer Ablenkung von der eigentlichen Aufgabe führen. Die 4jährigen Kinder richteten in ihrer Studie nur während 35% der Zeit ihren Blick auf die Aufgabe, während die 6jährigen doppelt so lang auf die Aufgabe schauten.

## 1.6 Fragestellungen und Hypothesen

In der vorliegenden Arbeit untersuche ich den Einfluss eines spezifischen Trainings auf die Beidhandkoordinationsfähigkeit von 5-8jährigen Kindern systematisch. Da im Alter zwischen 5 und 8 Jahren generell noch eine hohe Leistungsvariabilität zwischen gleichaltrigen Kindern besteht, erwarte ich, dass eine sensomotorische Fähigkeit wie die Beidhandkoordination durch geeignete Aufgabenstellungen trainiert werden kann. In für Kinder neuen, nicht überlernten bimanuellen Koordinationsaufgaben, die kontinuierliche und zielgerichtete Drehbewegungen erfordern, sollte sich im Trainingsverlauf bei allen eine Verbesserung in den untersuchten Leistungsparametern zeigen, und Leistungsunterschiede zwischen gleichaltrigen Kindern sollten abnehmen.

Fitzpatrick und Mitarbeiter (1996) sehen in der Stabilität von Bewegungsmustern einen Gradmesser der Entwicklung. Weil jüngere Kinder eine grössere Variabilität in ihrer Koordinationsleistung zeigen (Höfler-Weber, 1996; Locher, 1998), sollte ein Training bei ihnen zu grösseren Effekten führen als bei älteren Kindern. Hinsichtlich des Alters und der verschiedenen Charakteristika der Beidhandkoordinationsleistung werden auch differenzielle Trainingseffekte erwartet: Weil strukturelle Vorgaben vorhanden sind, die im Verlauf der Entwicklung aufgeweicht werden, muss der Grad der Trainierbarkeit auch vom Stand der Hirnreifung abhängen, und damit vom Alter des Kindes. Es wird deshalb erwartet, dass die älteren Kinder in der untersuchten Stichprobe in den schwierigsten Bewegungsbedingungen grössere Trainingseffekte zeigen als die jüngeren Kinder.

Um nachweisen zu können, dass es sich bei den erwarteten Trainingserfolgen tatsächlich um eine qualitative Veränderung der Beidhandkoordinationsfähigkeit handelt und nicht nur um einen reinen Übungseffekt, wird nur ein Teil der hier verwendeten Aufgaben trainiert. In einer Nachuntersuchung soll dann der Leistungsfortschritt in den geübten Aufgaben demjenigen in den ungeübten Aufgaben gegenübergestellt werden.

Die Prüfung von Transfereffekten ist eine geläufige Methode, Trainingserfolge abzusichern oder einzelne Merkmale einer Leistung zu erforschen (Fontaine et al., 1997; Kelso, 1995). Es wird erwartet, dass sich bei allen Kindern Transfereffekte von geübten Bewegungen, die dasselbe Rotationsverhältnis beider Hände zueinander erfordern, auf entsprechende, nicht geübte Bewegungen in entgegengesetzter Bewegungsrichtung ergeben:

- a) Ein Training spiegelbildlicher Bewegungen der Hände in Aussenrotation verbessert auch die Leistung spiegelbildlicher Bewegungen in Innenrotation,
- b) ein Training paralleler Bewegungen der Hände im Uhrzeigersinn verbessert auch die Leistung paralleler Bewegungen der Hände gegen den Uhrzeigersinn, und
- c) ein Training spiegelbildlicher Bewegungen der Hände, bei denen die rechte Hand schneller dreht als die linke, soll auch die Leistung spiegelbildlicher Bewegungen verbessern, bei denen die linke Hand schneller dreht als die rechte – also im umgekehrten Rotationsverhältnis beider Hände zueinander.

Um den Entwicklungsfortschritt in der Koordinationsfähigkeit des Kindes besser verstehen zu können, werden zwei Faktoren untersucht, die mit der Koordinationsfähigkeit und ihrer Entwicklung zusammenhängen: Mitbewegungen und Aufmerksamkeit.

Die beim kleinen Kind zu beobachtende Tendenz zur spiegelbildlichen und zeitlich synchronisierten Bewegung bei simultaner Aktivität der Arme und Hände wird als assoziierte Bewegung angesehen (Todor & Lazarus, 1986). Dabei sind Reifungsvorgänge für die Unterdrückung von Begleitbewegungen von Bedeutung. Es wird deshalb erwartet, dass sich durch ein Training der Beidhandkoordination assoziierte Bewegungen reduzieren lassen.

Assoziierte Bewegungen werden durch integrative Prozesse auf einem höheren kortikalen Niveau kontrolliert. Aufmerksamkeitsprozesse spielen dabei nachweislich eine wichtige Rolle (Todor & Lazarus, 1991). Eine Beidhandkoordinationsaufgabe zwingt die Versuchsperson, ihre Aufmerksamkeit entsprechend der Aufgabenstellung gezielt zu richten, zu verteilen und zu verschieben, um den Einfluss von assoziierten Bewegungen kontrollieren zu können. Da die Fähigkeit zur Teilung der Aufmerksamkeit entwicklungsabhängig ist, wird für die hier untersuchte Altersgruppe ein Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Beidhandkoordinationsleistung erwartet. Aufmerksamkeit mit ihrer Kontroll- und Steuerfunktion beeinflusst auch den Lernprozess in einer neuen Aufgabe. Die Aufmerksamkeit sollte deshalb – vor allem zu Beginn – bei der Bewältigung einer neuen Aufgabenstellung wichtig sein.

Die Qualität der Beidhandkoordination in einer bestimmten Entwicklungsstufe sollte sich also einerseits vorhersagen lassen – und zwar aufgrund des Alters der Kinder, aufgrund ihrer Fähigkeit Aufmerksamkeitsstrategien anzuwenden und aufgrund des Grades auftretender Mitbewegungen. Andererseits sollte die Qualität der Beidhandkoordination durch ein geeignetes Training während der Entwicklung verbessert werden können und zu einer höheren Stufe sensomotorischer Integrität führen.

## 2 Methoden

### 2.1 Versuchspersonen

Die vorliegende Studie wurde in der Kinderklinik des Kantonsspitals Aarau (CH) durchgeführt. Aus einem nahe der Klinik gelegenen Schulhaus, aus dem Kindergarten und der ersten und zweiten Primarklasse wurden die Teilnehmer, schweizerdeutsch sprechende Kinder, rekrutiert. Die Rekrutierung erfolgte mit Unterstützung der Vertreter der beteiligten Institutionen, Schulbehörde, Kindergärtnerinnen und Lehrerinnen. Die Eltern wurden gebeten, zu Hause einen Entwicklungsfragebogen auszufüllen und gegebenenfalls ihre Einwilligung zur Teilnahme ihres Kindes durch Unterschrift bekannt zu geben.

Die Stichprobe der vorliegenden Studie umfasst neben einer Kontrollgruppe von 20 Kindern 34 gesunde, normal intelligente 5-8jährige Kinder, 19 Jungen und 15 Mädchen (Tab. 7.1 im Anhang). Händigkeit ist für die vorliegende Untersuchung nicht von Bedeutung. Da Händigkeitseffekte auf die Koordinationsleistung jedoch nicht auszuschliessen sind (vgl. Peters, 1994), wurden aufgrund der geringen Versuchspersonenanzahl nur rechtshändige Kinder einbezogen. Bisher fehlt ein Überblick über den gesamten Entwicklungsverlauf der Beidhandkoordinationsfähigkeit, weshalb für die Studienplanung eine Schwierigkeit in der Festlegung der Altersgruppen lag. Die Einteilung in halbjährliche Abstände im Alter zwischen 4 und 6 Jahren in der Arbeit von Höfler-Weber (1996) und in jährliche Abstände im Alter zwischen 7 und 11 Jahren bei Locher (1998) erwiesen sich als zu klein, um den Entwicklungsverlauf differenziert abzubilden. Hinsichtlich des Alters wurde deshalb in dieser Arbeit eine Gruppeneinteilung in zwei Altersstufen im Abstand von 2 Jahren vorgenommen: 17 5-6jährige (Median = 5.83 Jahre) aus dem Kindergarten und 17 7-8jährige (Median = 7.67 Jahre) Kinder aus der ersten und zweiten Primarschulklasse.

Ausschlusskriterien waren neben Linkshändigkeit eine auffällige Schwangerschafts- und / oder Geburtsgeschichte, Entwicklungsrückstände im Bereich der Sprache oder Motorik und aktuelle Konzentrations- oder Lernstörungen.

#### 2.1.1 Drop-outs

Alle Schüler von zwei Primarklassen (60) und alle Kinder der kontaktierten Kindergarten- und Primarklassen (48) erhielten einen Fragebogen. Die Rücklaufquote war mit insgesamt 55 zurückgeschickten Fragebögen sehr hoch. 14 Kinder konnten nicht teilnehmen, da sie die Ausschlusskriterien erfüllten, darunter 4 Linkshänder. Die Daten einer weiteren Versuchsperson wurden wegen angeborener, ungeklärter Gesichtsdysmorphien nicht einbezogen. Zwei weitere drop-outs ergaben sich, als eine Mutter ihre Zustimmung wegen Termenschwierigkeiten zurückzog, und ein 4jähriger Bub nach der zweiten Sitzung nicht mehr mitmachen wollte. Wegen unvollständiger Durchführung der Beidhandkoordinationsaufgaben wurden 3 weitere Kinder, zwei 4jährige und ein eben

5jähriges Kind von der Auswertung ausgeschlossen: Es stellte sich während der Aufgabendurchführung heraus, dass diese Kinder das Training nicht instruktionsgemäss durchführten. Auf ihrer Entwicklungsstufe erfassten sie noch nicht, dass es darum ging, sein Bestes zu geben und die Aufgaben auch dann mitzumachen, wenn sie schwierig waren.

### *2.1.2 Beschreibung der Versuchspersonengruppen*

Alle Untersuchungen wurden von der Autorin selbst durchgeführt. Die Teilnahme an dieser Trainingsstudie verlangte von Kindern und Begleitpersonen einen erheblichen zeitlichen Aufwand, weshalb die Versuchspersonen nicht aus einer repräsentativen Population, sondern aus einem in der Nähe der Klinik gelegenen Schulhaus rekrutiert wurden. Es handelte sich somit um eine quasi-experimentelle Versuchsanordnung.

Aus Gründen der internen Validität wurde zur Kontrolle von Reifungsfaktoren und Testeffekten eine Wartegruppe gebildet. 14 der 34 Versuchspersonen wurden in Bezug auf Alter und Geschlecht der Wartegruppe im Matching-Verfahren zugeteilt, was bei den 5-6jährigen gelang. Bei den 7-8jährigen ergab sich eine durchschnittliche Altersdifferenz von 3 Monaten zwischen Experimentalgruppe (Trainingsgruppe 1, insgesamt  $n = 20$ ) und Wartegruppe (Trainingsgruppe 2, insgesamt  $n = 14$ ). Wegen der bereits erwähnten grossen interindividuellen Variabilität im Leistungsvermögen während der kindlichen Entwicklung kann diese Differenz vernachlässigt werden. In Bezug auf die Geschlechterzusammensetzung konnte in der Wartegruppe eine Gleichverteilung erreicht werden, in Trainingsgruppe 1 überwogen die männlichen Versuchspersonen mit 12 zu 8. In der Literatur fehlen Studien zu Geschlechtsunterschieden in der Entwicklung der Beidhandkoordination. Dieser Aspekt war auch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Zur Prüfung von anhaltenden Trainingseffekten wurden 14 Kinder der Trainingsgruppe 1 (6 5-6jährige; 8 7-8jährige) und ein 5jähriges Kind der Trainingsgruppe 2 (insgesamt  $n = 15$ ) auf freiwilliger Basis 4 Wochen nach abgeschlossenem Training nachuntersucht.

Zur Prüfung von Testwiederholungseffekten im „Zürcher Neuromotorik-Test“ (vgl. Kap. 2.3.5) wurde aus dem gleichen Schulhaus zusätzlich eine Kontrollgruppe rekrutiert. 11 Kinder aus dem Kindergarten und 10 Kinder aus der ersten Primarschulklasse konnten für die Teilnahme unter denselben Ein- und Ausschlussbedingungen wie in der Studiengruppe gewonnen werden. Ein 7jähriger Junge musste wegen neuromotorischer Auffälligkeiten von der Auswertung ausgeschlossen werden, so dass insgesamt 20 Kinder einbezogen waren. Sie waren zwischen 5.25 und 7.5 Jahre alt (Median = 6.17 Jahre) und je zur Hälfte Jungen und Mädchen (vgl. Tab. 7.2 im Anhang).

Einen Überblick über die Versuchspersonengruppen gibt die folgende Tabelle 2.1:

Tabelle 2.1

*Versuchspersonengruppen im Überblick*

| <i>Gruppe</i>                             | <i>Beschreibung (vgl. auch Abb. 2.6)</i>  |
|---|---|
| Trainingsgruppe 1 (n=20)                  | durchlief das Beidhandkoordinationstraining unmittelbar anschliessend an die Ausgangsuntersuchung                                 |
| Trainingsgruppe 2 (n=14)<br>= Wartegruppe | durchlief das Beidhandkoordinationstraining nach einer Wartezeit von 3-5 Wochen zwischen Ausgangsuntersuchung und Trainingsbeginn |
| Kontrollgruppe (n=20)                     | wurde ausschliesslich mit dem „Zürcher Neuromotorik-Test“ untersucht  |

## 2.2 Erhebungsinstrumente und Geräte

### 2.2.1 Fragebogen

Zur Erfassung der Ein- und Ausschlusskriterien diente ein Fragebogen (Höfler-Weber, 1996), angepasst an Schweizer Verhältnisse (vgl. Kap. 7.4 im Anhang), der von den Eltern der Kinder ausgefüllt worden war, die ihre Bereitschaft zur Teilnahme erklärt hatten. Mit dem Fragebogen konnten der Entwicklungsverlauf und aktuelle Entwicklungsstand der Kinder grob abgeschätzt sowie bestehende Seh- oder Hörbeeinträchtigungen, Erkrankungen und Behinderungen und Auffälligkeiten während der Schwangerschaft, Geburt, psychomotorischen und sprachlichen Entwicklung und aktuelle Konzentrations- und Lernstörungen erfasst werden.

### 2.2.2 Annett-Test

Der Entwicklungsfragebogen, den die Eltern vor der Untersuchung ausfüllten, enthielt eine Angabe zur Handpräferenz des Kindes. Zur Absicherung der Handdominanz wurde zusätzlich der „peg-moving“-Test nach Annett (1970; 1985), ein Leistungstest durchgeführt. Hierbei handelt es sich um einen rechteckigen Holzrahmen mit je 10 Vertiefungen für 10 Holzstecker in beiden Längsseiten des Rahmens. Der Rahmen wird mit seinen Längsseiten so vor der Versuchsperson platziert, dass sich die Stecker in der weiter entfernten Seite befinden. Die Versuchsperson soll einen Stecker nach dem anderen mit einer Hand ergreifen und so schnell wie möglich in die vor ihr liegende Vertiefung umstecken. Die rechte Hand beginnt auf der rechten, die linke Hand auf der linken Seite. Jede Hand wird dreimal getestet, nach dem Schema R, L, L, R, R, L. Die Zeitdifferenz zwischen beiden Händen, auf Hundertstelsekunden genau erfasst, be-

stimmt den Grad und die Richtung der Lateralität. Die Differenzwerte bleiben während des Wachstums des Kindes stabil (Annett et al., 1974). Eine Aussage über die manuelle Geschicklichkeit, wie sie der „peg-moving“-Test erfasst, ist deshalb den beobachteten Handpräferenzen vorzuziehen, weil letztere von Gewohnheit oder Training überdeckt sein könnten (Annett, 1970; 1985).

### *2.2.3 Intelligenztest*

Zur Abschätzung der allgemeinen Intelligenz der Kinder wurde die Columbia Mental Maturity Scale CMM (Eggert, 1972) verwendet. Die Wahl fiel auf diese Skala, weil sie ökonomisch und gut reliabel ist, und die Aufgaben für Kinder ansprechend gestaltet sind. Je nach Altersgruppe kamen verschiedene Versionen der CMM zum Einsatz. Den jüngeren, 5-6-jährigen Kindern wurden die Aufgaben aus der Testbatterie für geistig behinderte Kinder TBGB (Bondy et al., 1992) vorgelegt und mit den Normen für nicht-behinderte Kinder von 4-6 Jahren aus Eggert (1972) verglichen. Die 7-8-jährigen Kinder wurden mit der Columbia Mental Maturity Scale CMM 1-3 von Schuck, Eggert, und Raatz (1994) untersucht und ihre Leistungen mit den dort erhobenen Normen verglichen. Die CMM 1-3 enthält eine Auswahl von 50 aus 100 Aufgaben der CMM. „Die Aufgaben (...) bestehen aus jeweils nach einem bestimmten Prinzip zusammengestellten Einzelbildern. Eines der fünf auf den Bildern dargestellten Objekte genügt diesem Prinzip nicht und muss von den Kindern als nicht zu den anderen Bildern passend gekennzeichnet werden.“ (Schuck et al., 1994). Das Mass für das erreichte Intelligenzniveau wird mit dem T-Wert ausgedrückt.

### *2.2.4 Intermodale geteilte Aufmerksamkeit*

Da zur Prüfung der geteilten Aufmerksamkeit für die Alterstufe von 5-8-jährigen Kindern keine geeigneten Verfahren zur Verfügung stehen, wurde für diese Studie ein solches Verfahren auf der Grundlage einer computergesteuerten Untersuchungsaufgabe zur Diagnostik der visuellen Aufmerksamkeit entwickelt. Es handelt sich bei dieser Aufgabe um das „Suchquadrat (KIQ)“ aus der DOS-Version der Untersuchungsbatterie „Neurop“ von L. Gaäl (1994). Diese Aufgabe ist für aphasische Patienten und Kinder ab 3 Jahren geeignet. Sie wurde in Zusammenarbeit mit der Autorin der vorliegenden Studie von Herrn Laco Gaäl, Klinik für Neurologische Rehabilitation Mainkofen (D), zu einer „dual task“-Aufgabe ergänzt („Suchquadrat +2“). Intermodale geteilte Aufmerksamkeit wird gefordert, indem die Versuchsperson am Bildschirm eine visuelle Suchaufgabe erfüllen und gleichzeitig im auditiven Kanal auf Unregelmässigkeiten in einer alternierenden Tonfolge achten soll.

Die visuelle Suchaufgabe besteht aus einer 5 x 5 Matrix von Bildern zu verschiedenen Themenbereichen (Tiere, Haushaltsgeräte, Werkzeuge und abstrakte Figuren, vgl. unten). Im Zentrum der Matrix wird in vorgegebener Folge jeweils ein Bild rot umrahmt gezeigt, dessen Doppel die Versuchsperson in der Peripherie der Matrix möglichst

schnell suchen und mit dem Finger identifizieren soll. Das Zeigen wird von der Untersucherin unmittelbar mit der Leertaste bestätigt. Gemessen werden die Zeiten, die für die visuelle Exploration benötigt wurden.

Die parallele akustische Aufgabe wurde in Anlehnung an den Test zur Prüfung der geteilten Aufmerksamkeit aus der „Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP“ (Zimmermann & Fimm, 1993) konzipiert. Sie besteht in der Entdeckung einer Unregelmässigkeit in einer Tonfolge, bei der regelmässig abwechselnd ein hoher und ein tiefer Ton zu hören ist. Die alternierende Tonfolge wird in unregelmässigen Abständen unterbrochen, indem zweimal hintereinander der gleiche Ton ertönt. Dieser Reiz muss mit einem Mausklick bestätigt werden. Gemessen werden Treffer, Auslassungen und Fehler.

#### *2.2.4.1 Aufgabenbeschreibung im Aufmerksamkeitstest „Suchquadrat +2“*

Die in dieser Untersuchung verwendete Bildvorlage für die visuelle Suchaufgabe bestand aus Tierbildern, die für jedes Kind in derselben Reihenfolge vorgegeben wurden. In einer Beispielaufgabe wurde der Suchvorgang so lange mit dem Kind eingeübt, bis 3 mal das jeweils geforderte Tier gefunden wurde. Die Vorgabe der Tonfolge in der parallelen akustischen Aufgabe wurde in einem Vorversuch mit 3 nicht an der Studie beteiligten Kindern der Reaktionsgeschwindigkeit eines 5jährigen Kindes angepasst, indem die Latenz zwischen den aufeinanderfolgenden Tönen auf 1750 ms festgelegt wurde. Um eine möglichst einfache und in beiden Aufgaben (visuelle Exploration und akustische Unterschieds-Diskrimination) gleichartige Antwortreaktion zu erhalten, wurde auf mittlerer Höhe des rechten Bildschirmrandes die Abbildung eines Telefons angebracht, auf die das Kind bei Entdecken des Fehlers in der alternierenden Tonfolge so schnell wie möglich zeigen sollte. Die Versuchsleiterin bestätigte diese Zeige-Reaktion unmittelbar mit einem Mausklick. Die Fehlerentdeckung in der Tonfolge wurde wiederum in einer Beispielerie so lange eingeübt, bis das Kind 3 Fehler hintereinander entdeckt hatte und damit sichergestellt war, dass die isoliert getestete akustische Aufgabe erfüllt werden konnte. Die eigentliche Testaufgabe, „Suchquadrat +2“ zur Prüfung der geteilten Aufmerksamkeit, eine Kombination von visueller und akustischer Signalentdeckung, wurde anschliessend so lange geübt, bis das Kind während des visuellen Suchvorganges einmal den Fehler in der Tonfolge entdeckt und richtig reagiert hatte. Danach wurde die Beispielaufgabe abgebrochen und der Test begonnen. Die gesamte Durchführung des Tests dauerte knapp 10 Minuten.

#### *2.2.5 Zürcher Neuromotorik-Test*

Der Zeitbedarf für spezifische motorische Aufgaben und das Auftreten assoziierter Bewegungen werden schon lange als wesentliche Komponenten in einer Prüfung der neuromotorischen Entwicklung eines Kindes betrachtet. Trotzdem lagen bisher kaum befriedigende Verfahren und Normdaten vor (Largo et al., 2001a). Vor allem die Beurteilung von assoziierten Bewegungen, dem qualitativen Aspekt von Bewegung also, ist ein schwieriges Unterfangen. Bisherige Reliabilitätsprüfungen sind insgesamt

unbefriedigend ausgefallen (Vitiello et al., 1989). Mit dem „Zürcher Neuromotorik-Test“ liegt jedoch eine standardisierte Untersuchungsbatterie zur Beurteilung der neuromotorischen Entwicklung des Kindes vor. Dieser Test wurde zur Erhebung der motorischen Geschicklichkeit und zur Einschätzung von assoziierten Bewegungen der Hände bei motorischer Aktivität der jeweils kontralateralen Hand (Mitbewegungen) in der vorliegenden Untersuchung angewandt.

Der „Zürcher Neuromotorik-Test“ wurde unter Leitung von R. H. Largo in der Abteilung für Wachstum und Entwicklung der Universitäts-Kinderklinik Zürich entwickelt und im Rahmen von zwei Dissertationen veröffentlicht (Hug, 1995; Muggli, 1997). Er erlaubt eine leistungsmässige und qualitative Einschätzung neuromotorischer Funktionen. Für Leistung – Zeitbedarf für eine Bewegungssequenz – und Qualität – Bewegungsqualität in Form von Mitbewegungen während einer Bewegungssequenz – von 11 neuromotorischen Funktionen liegen Normwerte für Kinder und Jugendliche von 5 bis 18 Jahren vor. Die Intra- und Interrater-Reliabilität fällt für die Zeitmessung mit  $r \geq 0.90$  sehr hoch und für die Mitbewegungen mit  $r = 0.54$  bis  $0.90$ , bzw.  $r = 0.51$  bis  $0.87$  befriedigend bis hoch aus. Die Retest-Reliabilität für das Zeitmass – mit einem Test-Retest-Intervall von einer Woche – fällt hingegen nur mässig bis hoch aus, abhängig vom Komplexitätsgrad der geprüften Aufgabe und vom Beurteiler. Für die Mitbewegungen gibt es keine Angaben zur Retest-Reliabilität. Insgesamt sind die Reliabilitätskoeffizienten für das Leistungsmass höher als für das Qualitätsmass (Largo et al., 2001a/b). Der standardisierte Untersuchungsablauf für die klinische Version enthält Aufgaben zur Prüfung der oberen und unteren Extremitäten und eine neuroorthopädische Untersuchung.

Die Autorin der vorliegenden Studie wurde in einem Kurs in der Abteilung für Wachstum und Entwicklung der Universitäts-Kinderklinik Zürich in der korrekten Durchführung und Auswertung des Zürcher Neuromotorik-Tests unterwiesen und erhielt Testhandbuch, Protokollbögen, Normdaten (Abteilung für Wachstum und Entwicklung, Universitäts-Kinderklinik Zürich, 1997) und zusätzliche Auswertungsdemonstrationen auf Lehrvideos zur Beurteilung der kontralateralen Mitbewegungen (Meyer, 1999; Müller, 1999).

#### *2.2.5.1 Aufgabenbeschreibung im „Zürcher Neuromotorik-Test“*

In der vorliegenden Arbeit wurden alle 6 Bewegungsaufgaben zur Beurteilung der neuromotorischen Entwicklung der oberen Extremitäten aus der Testbatterie durchgeführt. Dies sind in der hier getesteten Reihenfolge die Aufgaben:

„Repetitives Handklopfen“, „Pro- und Supination“, „repetitive Fingerbewegungen“, „sequentielle Fingerbewegungen“, „Diadochokinese“ und „Steckbrett“.

Bis auf die Diadochokinese, die im Stehen geprüft wird, werden alle übrigen Aufgaben in einer ergonomisch günstigen Sitzposition, die Aufgabe Steckbrett am Tisch durchgeführt. Während eine Hand die geforderte Bewegung ausführt, hält das Kind die andere Hand in der gleichen Ausgangsposition wie die aktive. Es beginnt in jeder Aufgabe die rechte Hand, dabei soll die Bewegung jeweils so schnell wie möglich ausgeführt werden. Auf allfällige Mitbewegungen wird nicht aufmerksam gemacht. Jede Aufgabe wird zuerst erklärt und vorgemacht und dann vom Kind geübt. Anzahl Bewegungssequenzen und Einsatz der Zeitmessung pro Aufgabe sind in der Testanwei-

sung festgelegt. Die Durchführungszeiten werden mit der Stopp-Uhr gemessen und notiert. Zum Zweck der qualitativen Auswertung, d.h. zur Einschätzung kontralateraler Mitbewegungen, wurde die gesamte Prüfung auf Video aufgenommen. Die Durchführung des Neuromotorik-Tests in dieser Form dauerte 15 Minuten.

### 2.2.6 Beidhandkoordinationsaufgaben (BMC-Test)

Zur Untersuchung und zum Training der bimanuellen Koordinationsleistungen wurde das von Preilowski (1972) entwickelte Zweihandkoordinations-Gerät verwendet. Es wurde inzwischen von Hart (1995) an den Computer angepasst und von Föhl und Kringler (vgl. Kringler, 1997) in Bezug auf die resultierenden Masse erweitert und liegt als BMC-Programm vor. Die gesamte Untersuchungseinheit besteht aus einem DOS-PC, einer speziellen Messdatenerfassungskarte und zwei mit dem Rechner verbundenen, leichtgängigen und ausgewuchteten Kurbeln (Abb. 2.1).

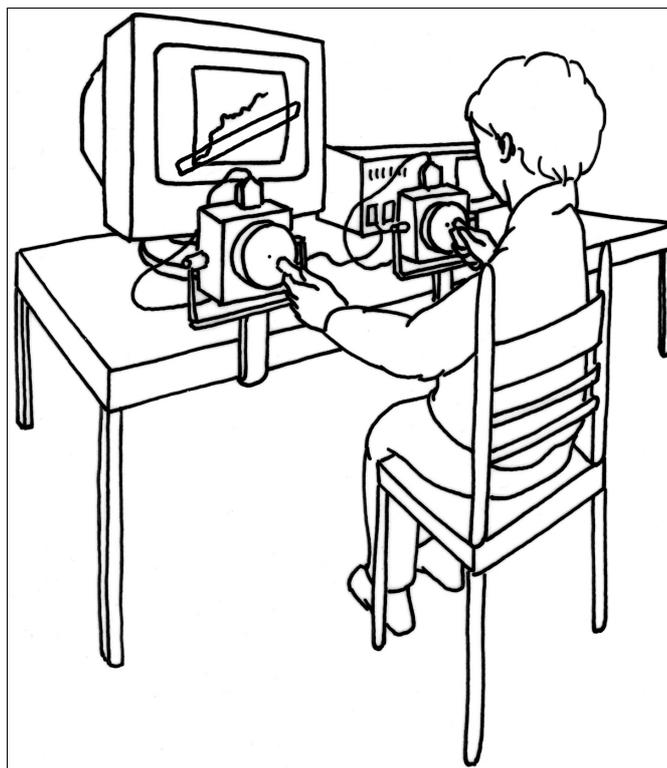


Abbildung 2.1 Zweihandkoordinationsgerät nach Preilowski (1972). Aktuelle computer-gestützte Version mit elektromechanischer Vorrichtung (gezeichnet von Susanne Höfler, 2003)

Über kontinuierliche Rotationsbewegungen der Hände auf einer Strecke von mindestens ca. 151 mm und höchstens ca. 377 mm lassen sich mit diesem Programm bimanuelle Tracking-Aufgaben durchführen. Auf dem Monitor wird ein quadratisches Feld mit einer Seitenlänge von 14 cm mit einer darin liegenden geraden, 10 mm breiten Bahn

dargeboten, die durch unterschiedliche Neigungswinkel in ihrer Ausrichtung variiert werden kann. Die Kurbeln kontrollieren einen Cursor entlang der X- und Y-Achse, der eine sichtbare Pixelspur hinterlässt. Durch Drehen der rechten Kurbel kann der Cursor in vertikaler, durch Drehen der linken Kurbel in horizontaler Richtung bewegt werden. Bei simultaner Betätigung beider Kurbeln sind alle Richtungen möglich. Die Aufgabe für die Versuchsperson besteht darin, durch fein abgestimmte Koordinationsbewegungen den Cursor durch Kurbelrotationen inmitten der vorgegebenen Bahn – was jeweils der kürzest möglichen Wegstrecke entspricht – voranzutreiben. Abhängig vom Startpunkt in einem der vier Quadranten des Feldes und dem Steigungswinkel der Bahn, können die erforderliche Drehrichtung der Kurbeln und das Verhältnis vom Input der rechten Hand zum Input der linken Hand variiert werden. Auf diese Art können von der Versuchsperson verschiedene Rotations- und Koordinationsbewegungen beider Arme und Hände gefordert werden.

Mit dem BMC-Test kann die Koordinationsleistung einer Versuchsperson in 12 möglichen Rotationsbedingungen geprüft werden, welche die unten aufgeführten Anforderungen an die Koordinationsfähigkeit isoliert oder kombiniert enthalten:

- Spiegelbildliche Bewegungen nach außen und nach innen, die Rückschlüsse auf den Grad der Feinabstimmung zwischen beiden Händen erlauben.
- Gleichzeitige parallele Bewegungen im Uhrzeigersinn und gegen den Uhrzeigersinn, die den Grad der homologen Kopplung abbilden.
- Asynchrone Bewegungen beider Hände, die den Grad der zeitlichen Kopplung abbilden. Je nach Steigung der vorgegebenen Bahn muss einmal die linke, einmal die rechte Hand im Verhältnis zur anderen Hand schneller drehen.

Die hier verwendeten Aufgaben gewährleisten, dass vorhandene Fertigkeiten, die das einzelne Kind schon besitzt, nur geringfügig zum Neulernen beitragen, weil sie sicher nicht überlernt sind. Der Vorteil des hier verwendeten Gerätes besteht zusätzlich darin, dass die Versuchsperson über die sichtbare Pixelspur unmittelbar und kontinuierlich Rückmeldung über ihre Leistung erhält.

Die resultierenden Messgrößen sind a) der Zeitbedarf, der benötigt wird, um mit dem Cursor in der Bahn vom Startpunkt bis zur Ziellinie zu gelangen, und b) die dabei zurückgelegte Weglänge der Pixelspur.

### *2.2.6.1 Beschreibung der Beidhandkoordinationsaufgaben*

In der vorliegenden Studie geht es um die Untersuchung folgender Bewegungsarten und Koordinationsleistungen:

- Die Flüssigkeit einer Koordinationsbewegung bzw. die Geschwindigkeit, mit der sie durchgeführt werden kann,
- der Einfluss von Mitbewegungen auf Flüssigkeit und Bewegungsqualität durch die kontralaterale Hand,
- die Feinabstimmung in der Bewegungsqualität beider Hände aufeinander,
- und die Unabhängigkeit in Bewegungsrichtung und -tempo der Hände voneinander.

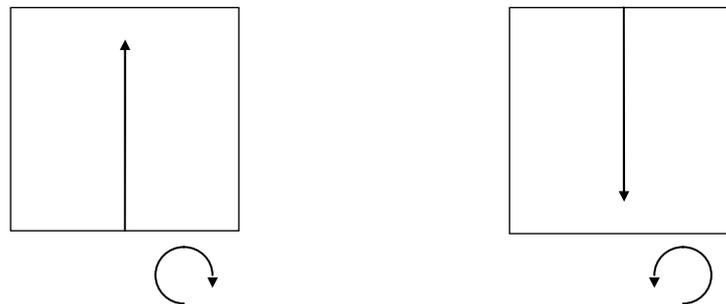
Unter Beachtung einer standardisierten Untersuchungssituation (vgl. Kap. 7.3 im Anhang) wurden die Kinder mit den Zweihandkoordinationsaufgaben am Computer

vertraut gemacht. Drei Übungsdurchgänge zeigten ihnen Art der Aufgaben und Bewegungsmöglichkeiten. Die Kinder konnten die verschiedenen Rotationsmöglichkeiten selbst ausprobieren. Die Vorgabe am Monitor bestand lediglich aus dem quadratischen Feld mit Startpunkt für die Pixelspur ohne Bahn. Um die Kinder auch mit der Vorgabe von Bahnen im folgenden Experiment vertraut zu machen, ohne dass schon ein unkontrollierter Übungseffekt entsteht, wurde im letzten Übungsdurchgang ein auf der Spitze stehendes Quadrat, dessen Seiten als Bahn gezeichnet waren, mit Hand auf eine Folie gezeichnet und in das Feld platziert. Mit Anweisung und Hilfe der Versuchsleiterin sollten die Kinder einmal probieren, der Bahn rundherum nachzufahren.

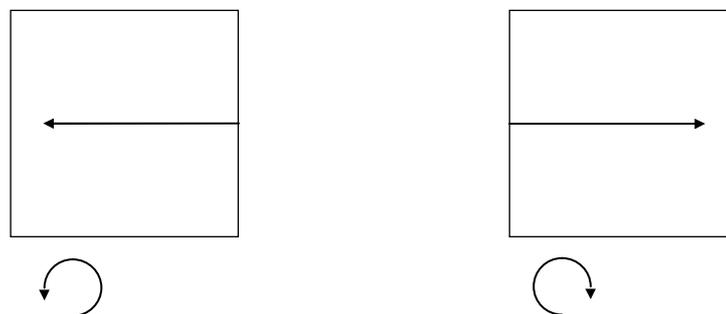
### 2.2.6.1.1 Einhändige Rotationsbedingungen

Im vorliegenden Experiment wurde zu Beginn jeder Sitzung im ersten Untersuchungsblock die Einzelleistung jeder Hand in Bezug auf Bewegungsgeschwindigkeit und Einfluss auf die Leistung durch Mitbewegungen der stillen Hand gemessen. Die Aufgaben dienten auch als Einstimmungsaufgaben für das Beidhandkoordinationstraining. Die Rotationsbedingungen sind die folgenden:

**A1:** einhändige Rotation der rechten Hand, Bahnsteigungswinkel  $90^\circ$



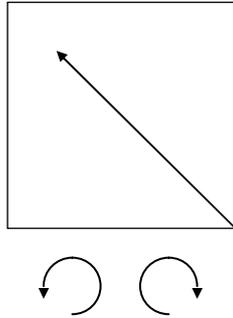
**A2:** einhändige Rotation der linken Hand, Bahnsteigungswinkel  $0^\circ$



*Abbildung 2.2* Abhängig vom Startpunkt der Pixelspur wird Aussen- oder Innenrotation des Armes gefordert. Die Pfeilrichtung im Quadrat deutet die Verlaufsrichtung der Pixelspur an. Der Pfeil unter dem Quadrat symbolisiert die Rotationsrichtung der Kurbel.

## 2.2.6.1.2 Beidhändige Rotationsbedingungen

**B1:** bimanuelle spiegelbildliche Rotation nach aussen, Bahnsteigungswinkel  $135^\circ$



**B2:** bimanuelle spiegelbildliche Rotation nach innen, Bahnsteigungswinkel  $135^\circ$

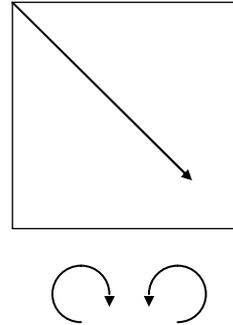
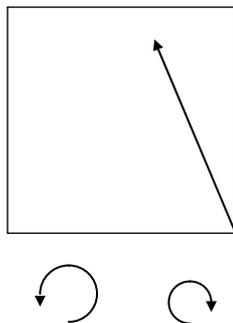


Abbildung 2.3 Abhängig vom Startpunkt der Pixelspur wird Aussen- oder Innenrotation des Armes gefordert. Die Pfeilrichtung im Quadrat deutet die Verlaufsrichtung der Pixelspur an. Die Pfeile unter dem Quadrat symbolisieren die Rotationsrichtung der Kurbeln.

**C1:** bimanuelle asynchrone spiegelbildliche Rotation, rechte Hand dreht schneller, Bahnsteigungswinkel  $112^\circ$



**C2:** bimanuelle asynchrone spiegelbildliche Rotation, linke Hand dreht schneller, Bahnsteigungswinkel  $158^\circ$

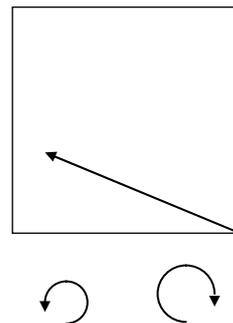
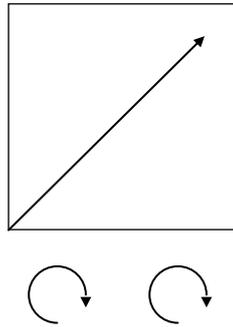
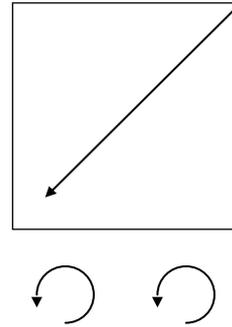


Abbildung 2.4 Das Verhältnis der Drehgeschwindigkeit von der einen Hand zur anderen ist bei diesen Aufgaben mit  $1 : 2,5$  nicht einfach proportional. Somit ist es kaum möglich, das Geschwindigkeitsverhältnis der Hände zueinander in der Vorstellung zu planen, z. B. die rechte Hand dreht doppelt so schnell wie die linke. Die Pfeilrichtung im Quadrat deutet die Verlaufsrichtung der Pixelspur an. Die Pfeile unter dem Quadrat symbolisieren die Rotationsrichtung der Kurbeln und die unterschiedlichen Drehgeschwindigkeiten der Hände (kleiner Pfeil zeigt die schnellere Bewegung an).

**D1:** bimanuelle parallele Rotation  
im Uhrzeigersinn,  
Bahnsteigungswinkel 45°



**D2:** bimanuelle parallele Rotation  
gegen den Uhrzeigersinn,  
Bahnsteigungswinkel 45°



*Abbildung 2.5* Abhängig vom Startpunkt der Pixelspur wird die Drehbewegung der Hände mit oder gegen den Uhrzeigersinn gefordert. Die Pfeilrichtung im Quadrat deutet die Verlaufsrichtung der Pixelspur an. Die Pfeile unter dem Quadrat symbolisieren die Rotationsrichtung der Kurbeln.

Aus früheren Untersuchungen bei Kindern zwischen 4 und 9 Jahren mit dem BMC-Test (Höfler-Weber, 1996; Locher, 1998) ist bekannt, dass die Aufgaben für diese Altersstufe einen hohen Schwierigkeitsgrad aufweisen. Um die Durchführbarkeit der vorliegenden Untersuchung zu gewährleisten, wurden deshalb von den 12 möglichen beidhändigen Rotationsbedingungen die oben gezeigten 6 Bedingungen ausgewählt. Die Auswahl erfolgte unter Berücksichtigung der für diese Arbeit gestellten Hypothesen.

### *2.2.6.2 Instruktion zur Durchführung der BMC-Aufgaben*

Bei dem insgesamt hohen Schwierigkeitsgrad der hier gestellten Anforderungen an die Kinder musste ein Minimum an Standardisierung genügen. Die Instruktion für das Beidhandkoordinationstraining orientierte sich deshalb an einem „individuumzentrierten Versuchsleiterverhalten“, wie es von Kebeck & Lohaus (vgl. Bortz & Döring, 2002) vorgeschlagen wird. Es geht dabei darum, als Voraussetzung zur späteren Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse bei allen Versuchspersonen ein möglichst äquivalentes Erleben zu erzeugen. In dieser Arbeit ging es um eine Prüfung von sensomotorischen Fähigkeiten, und nicht um die Fähigkeit von Kindern herauszufinden, wie die hier gestellten Aufgaben richtig gelöst werden können. Deshalb sollten zur Aufrechterhaltung der Motivation krasse Misserfolgsenerlebnisse möglichst ausgeschlossen werden und gewährleistet sein, dass die Anweisungen umgesetzt werden konnten.

Die Instruktionen sollten auch dazu beitragen, dass der Focus der Kinder auf der eigentlichen Aufgabenstellung lag, nämlich die geforderte Bewegung möglichst optimal umzusetzen. Potentielle Nachteile der hier verwendeten computergesteuerten Testvorgabe sollten damit minimiert werden: So verleitet die Testvorgabe ein Kind dazu, Abweichungen vom Idealweg durch nicht instruktionsgemäße Bewegungen zu korrigieren. In früheren Arbeiten wurden Korrekturbewegungen, z. B. in Form alternie-

render Aktivität der Hände (Fagard, 1985; Frohlich, 1988; Höfler-Weber, 1996; Locher, 1998) oder Richtungswechsel, um in die Bahn zurückzukehren, beobachtet.

Konkret wurden die Versuchspersonen in der vorliegenden Untersuchung so instruiert: Vor jedem Untersuchungsblock wurden Bewegungsrichtungen und Ablauf der Durchgänge besprochen, in der Luft vorgemacht und vom Kind nachvollzogen. Das Kind wurde darauf aufmerksam gemacht, die Kurbeln locker zu handhaben und in den beidhändigen Bedingungen immer beide Kurbeln gleichzeitig zu drehen. Wenn nötig wurde das Kind während der Untersuchung daran erinnert. Schlug das Kind während eines Aufgabendurchgangs eine falsche Bewegungsrichtung ein, wurde es verbal korrigiert. Vor jedem Aufgabenblock erhielten die Kinder anschliessend eine standardisierte Anweisung, wie die Bewegung durchgeführt werden sollte. Es sollte so schnell wie möglich in der Mitte der Bahn gefahren werden (Instruktionen im Wortlaut in Kap 7.3 im Anhang). Um einer möglichen Entmutigung der Kinder durch offensichtliches Nichtgelingen entgegenzuwirken, wurde in den schwersten Rotationsbedingungen **C1** und **C2** (unterschiedliche Drehgeschwindigkeit der Hände) auf die Vorgabe, die Bewegung so schnell wie möglich auszuführen, verzichtet.

## 2.3 Durchführung der Untersuchung

### 2.3.1 Untersuchungsablauf mit experimentellem Design

Um eine zuverlässige Datenerhebung zu ermöglichen, müssen entwicklungsbedingte Besonderheiten von Kindern der hier untersuchten Altersstufe berücksichtigt werden. Unverzichtbare Voraussetzung für deren motivierte Teilnahme sind eine angstfreie Stimmung, die Herstellung eines jeweils individuellen Kontaktes zum Kind, adäquate Anforderungen an die Konzentrationsfähigkeit und motivierende Aspekte der Aufgaben sowie das angesprochene Interesse und die Möglichkeit, die eigene Leistung wahrzunehmen.

Der gesamte Untersuchungsablauf (siehe schematische Darstellung Abb. 2.6) umfasste in der ersten Sitzung eine Voruntersuchung zur Sicherstellung der Rechtshändigkeit mit dem „Annett-Test“ und durchschnittlichen intellektuellen Fähigkeit mit der CMM sowie einen Test zur Messung der geteilten Aufmerksamkeit „Suchquadrat +2“. Alle drei Tests haben für Kinder hochmotivierenden Charakter und stellen in Bezug auf Art der Aufgabe, angesprochenen Funktionsbereich und Ort der Durchführung ganz unterschiedliche Anforderungen. Aus Gründen einer guten Kontaktaufnahme mit dem Kind über seine Händigkeit und dem In-Aussicht-Stellen einer in dieser Altersstufe beliebten Computeraufgabe am Schluss der Sitzung, wurden die drei Tests für alle Kinder in derselben Reihenfolge vorgegeben. Die folgende Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die Sitzungen mit der Reihenfolge der Testvorgaben:

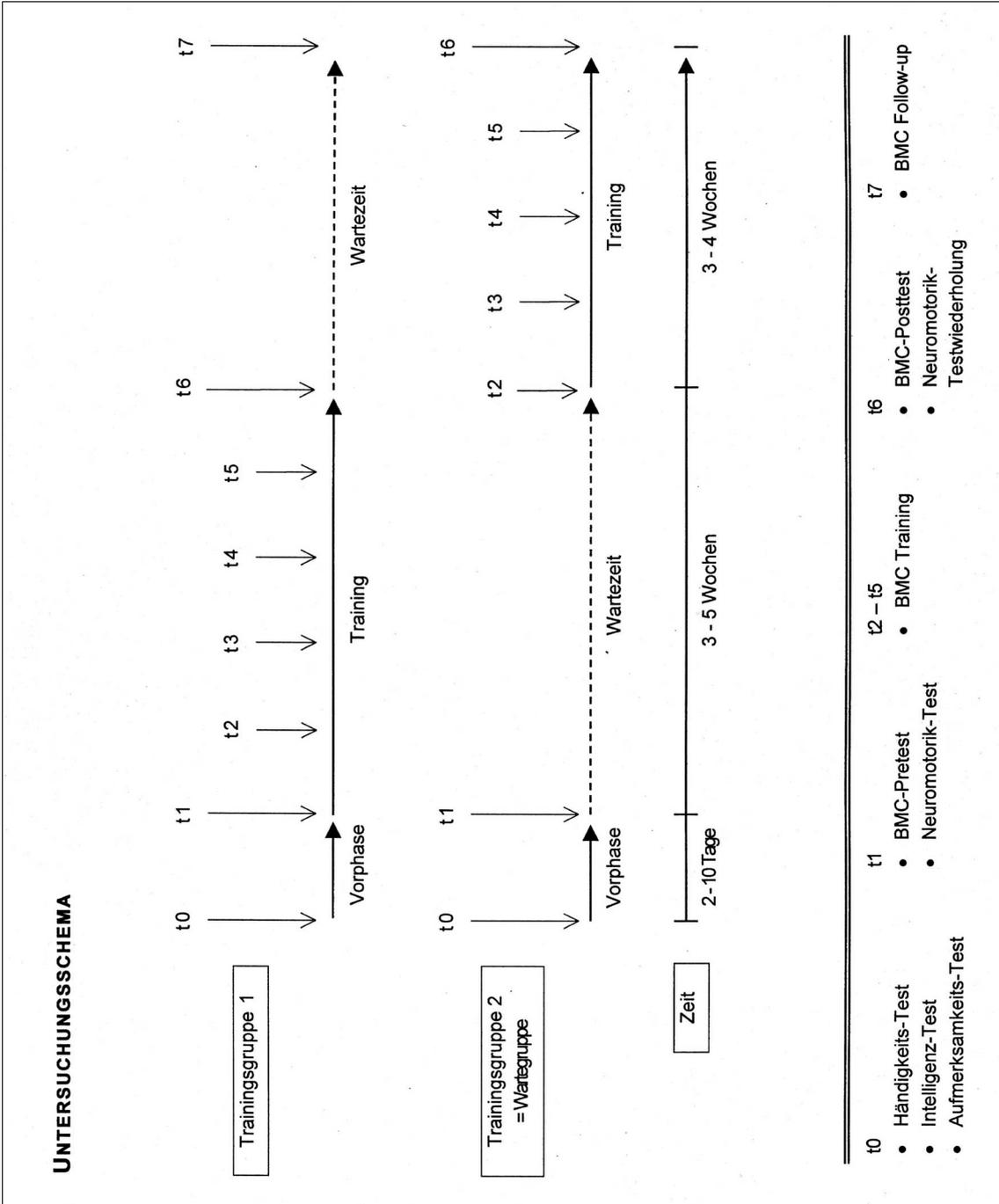


Abbildung 2.6 Überblick über das Untersuchungsdesign (nicht enthalten ist die Kontrollgruppe für den Neuromotorik-Test)

Tabelle 2.2

*Untersuchungsablauf im Überblick (vgl. auch Abb. 2.6)*

| <i>Sitzungen</i>     | <i>Test-Reihenfolge</i>                                  |
|----------------------|--|
| <i>Sitzung t0</i>    | Händigkeits-Test, Intelligenz-Test, Aufmerksamkeits-Test |
| <i>Sitzung t1</i>    | Neuromotorik-Test, BMC-Prätest (vgl. auch Tab. 2.3)      |
| <i>Sitzung t2-t5</i> | 2 x Trainingsaufgaben (vgl. auch Tab. 2.4)               |
| <i>Sitzung t6</i>    | Neuromotorik-Test, BMC-Posttest (vgl. auch Tab. 2.3)     |
| <i>Sitzung t7</i>    | freiwillige Follow-up-Prüfung mit Trainingsaufgaben      |

Anmerkung: t0 bis t7 steht für den jeweiligen Testzeitpunkt.

Für jedes Kind ergaben sich auf diese Weise 7 bzw. 8 Sitzungen von je 30 bis 45 Minuten Dauer. Die Termine fanden 1-2 mal wöchentlich zu einer schulfreien Zeit statt und wurden individuell mit den Eltern der Kinder vereinbart. Zwischen den einzelnen Messzeitpunkten innerhalb des Beidhandkoordinationstrainings lagen mindestens 2 und höchstens 9 Tage, in 4 Fällen ergab sich krankheitshalber jeweils einmal zwischen zwei Sitzungen ein Abstand von 12 bis 14 Tagen. Die Wartezeit für Trainingsgruppe 2 entsprach der Dauer des Trainings der Trainingsgruppe 1 und betrug 3-5 Wochen. Am Ende jeder Sitzung kreuzten die Kinder im Zeitplan an, dass sie teilgenommen hatten und erhielten eine kleine Anerkennung, am Schluss der Untersuchung eine Hörspielkassette.

Zur Absicherung möglicher Testwiederholungseffekte im Zürcher Neuromotorik-Test wurde die Kontrollgruppe nach Abschluss aller Untersuchungen der Studiengruppen in einem Zeitabstand von 4 Wochen zweimal mit dem Zürcher Neuromotorik-Test getestet (vgl. Tab. 2.1). Diese Untersuchungen fanden vor Ort im Kindergarten bzw. in der Schule statt und dauerten jeweils pro Kind ca. 10 bis 15 Minuten. Zwischen beiden Untersuchungszeitpunkten gab es keine weiteren Kontakte mit den Kindern.

### *2.3.1.1 Beidhandkoordinationsprüfung im Prä- und Posttest*

Die Beidhandkoordinationsprüfung im Prä- und Posttest bestand aus zwei Aufgabenblöcken mit der in Tabelle 2.2 aufgeführten Reihenfolge in der Darbietung der Rotationsbedingungen (vgl. auch Abb. 2.2-5):

In einer früheren Auswertung von Untersuchungsdaten mit dem BMC-Test stellt Kringler (1997) fest, dass bei 4 aufeinanderfolgenden Durchgängen derselben Rotationsbewegung vom 1. zum 2. Durchgang eine signifikante Verbesserung der Leistung beobachtet wird, im 3. und 4. Durchgang hingegen nicht mehr. In der vorliegenden Arbeit wurden zur Prüfung der bimanuellen Rotationsbewegungen 3 aufeinanderfolgende Durchgänge derselben Rotationsbewegung konzipiert, um die Leistung zu stabilisieren. Der Schwierigkeitsgrad der Rotationsbedingungen war im Verlauf der Sitzung relativ ausbalanciert. Die Bedingungen waren einerseits von leicht nach schwer angeordnet, andererseits endete die Untersuchung jedoch nicht mit den schwierigsten

Bedingungen **C1** und **C2** (siehe unten), um Positionseffekten, z. B. Ermüdung oder Entmutigung, vorzubeugen. Alle Versuchspersonen erhielten die gleichen Bedingungen in gleicher Reihenfolge.

Der Zeitbedarf für die Durchführung aller Aufgaben in der Prä- und Posttest-Sitzung betrug je 20-25 Minuten.

Tabelle 2.3

*Rotationsbedingungen in der Prä- und Postuntersuchung mit dem BMC-Test*

| <i>Untersuchungsblock</i> | <i>Rotationsbedingung<sup>2</sup></i>                       |
|---------------------------|---|
| <i>Block 1</i>            | <b>A1, A2</b> je 2 x 2 Durchgänge, insgesamt 8              |
| <i>Block 2</i>            | <b>B1, B2, C1, C2, D1, D2</b> je 3 Durchgänge, insgesamt 18 |

### 2.3.1.2 Aufgabendesign in den Trainingssitzungen

Die 6 Rotationsbedingungen im 2. Block der Ausgangsuntersuchung wurden in Trainings- und Transferbedingungen derart aufgeteilt, dass beide Aufgabensets die gleichen Anforderungen an die im folgenden aufgeführten Aspekte der Beidhandkoordination enthielten:

- spiegelbildliche Bewegungen, die Rückschlüsse auf den Grad der Feinabstimmung zwischen beiden Händen erlauben,
- parallele Bewegungen, die den Grad der homologen Kopplung abbilden und
- asynchrone Bewegungen, die den Grad der zeitlichen Kopplung abbilden.

Beide Aufgabensets unterscheiden sich in der Bewegungsrichtung oder im Verhältnis der Rotationsgeschwindigkeit beider Hände zueinander (vgl. Abb. 2.2-5). Um bei der Analyse der Daten einen möglichen Transfereffekt klar abbilden zu können, wurden für das Training die 3 Rotationsbedingungen ausgewählt, die bei Sichtung der Daten aus früheren Arbeiten für die hier untersuchten Altersstufen einfacher zu sein scheinen (Höfler-Weber, 1996; Kringler, 1997; Locher, 1998). Die Auswahl der leichteren Bewegungsbedingungen für das Training hat auch motivationale Gründe, da die hier verwendeten Aufgaben vor allem für die jüngeren Kinder wegen ihres hohen Schwierigkeitsgrades eine beachtliche Herausforderung darstellen. Im Hinblick auf spätere Untersuchungen an klinischen Stichproben kann dieser Aspekt ebenfalls von Bedeutung sein, wenn Kinder mit neuromotorischen Auffälligkeiten getestet werden sollen.

<sup>2</sup> **A1, A2:** einhändige Rotationsbedingungen

**B1** (↺↺), **B2** (↻↻): bimanuelle synchrone spiegelbildliche Rotationsbedingungen

**C1** (↺↻), **C2** (↻↺): bimanuelle asynchrone spiegelbildliche Rotationsbedingungen

**D1** (↺↺), **D2** (↻↻): bimanuelle synchrone parallele Rotationsbedingungen

Das Training der Beidhandkoordination absolvierten wieder alle Versuchspersonen auf die gleiche Art. Der Ablauf der Aufgabendarbietung entsprach dem in der Ausgangsuntersuchung. Im Block 1 wurden die einhändigen, im Block 2 die beidhändigen Rotationsbedingungen vorgegeben. Unterbrochen durch eine ca. 10minütige Spiel-Pause wurden die Beidhandkoordinationsaufgaben in jeder Sitzung zweimal geübt (Tab. 2.4).

Tabelle 2.4

*Rotationsbedingungen in den Trainingssitzungen*

| <i>Untersuchungsblock</i> | <i>Rotationsbedingung (vgl. Fussnote 2)</i>               |
|---------------------------|---|
| <i>Block 1</i>            | <b>A1, A2</b> je 2 x 2 Durchgänge, insgesamt 8 Durchgänge |
| <i>Block 2</i>            | <b>B1, C1, D1</b> je 3 Durchgänge, insgesamt 9 Durchgänge |
| <i>Block 3</i>            | <b>B1, C1, D1</b> je 3 Durchgänge, insgesamt 9 Durchgänge |

Es fanden 4 Trainingssitzungen statt, in denen die bimanuellen Trainingsbedingungen insgesamt 8 mal, die einhändigen Bedingungen 4 mal geübt wurden. Die Dauer einer Sitzung betrug 30 Minuten.

Zur Prüfung möglicher anhaltender Effekte des Beidhandkoordinationstrainings wurden in der Follow-up-Untersuchung Block 1 und 2 der Trainingssitzungen erneut vorgegeben.

## 2.4 Datenverarbeitung

Alle Untersuchungsdaten wurden in eine Excel-Tabelle eingetragen und in weiteren Tabellen für die jeweilige Analyse sortiert. Die Daten der Aufmerksamkeitsprüfung, der Neuromotorik-Prüfung und des Intelligenztests wurden per Hand eingetragen, die BMC-Daten konnten aus dem während des Experiments gespeicherten ASCII-Format über eine Word-Datei direkt ins Excel-Format konvertiert werden. Im folgenden werden die abhängigen Variablen der hier verwendeten Leistungstests beschrieben.

### 2.4.1 *Geteilte Aufmerksamkeit*

Zur Erfassung der geteilten Aufmerksamkeit im „Suchquadrat +2“ wurden folgende Kennwerte ausgewählt:

- *Gesamtsuchzeit* in der visuellen Aufgabe: Für die Entdeckung der Tierpaare hat das PC-Programm für jede Versuchsperson die Suchzeit (in Hundertstelsekunden) über die gesamte gemessene Zeit ausgegeben.
- *Relativer Fehleranteil* in der akustischen Aufgabe: Da die Anzahl der aufgetretenen relevanten akustischen Reize von der Suchzeit des jeweiligen Kindes abhängt, wurde für jede Versuchsperson der relative Anteil von Fehlern in der Reizentdeckung an der Gesamtaufgabe berechnet, indem die Auslassungen und falschen Treffer addiert und durch die Gesamtzahl der aufgetretenen relevanten Reize dividiert wurden. Die Fehlerwerte lagen damit zwischen 0 und 1. Ein hoher relativer Fehleranteil reflektiert die Unfähigkeit des Kindes, beide Aufgabenaspekte, den visuellen und den akustischen, gleichzeitig zu beachten.

### 2.4.2 *Mitbewegungen und neuromotorische Geschicklichkeit*

Von den 6 Bewegungsaufgaben zur Beurteilung der neuromotorischen Entwicklung der oberen Extremitäten im „Zürcher Neuromotorik-Test“ wurde die Aufgabe „Steckbrett“ wegen unvollständiger Daten aufgrund von nicht genau instruktionsgemässer Durchführung oder Video-Aufzeichnungsfehlern bei 9 Versuchspersonen von der Auswertung ausgeschlossen, so dass 5 Aufgaben resultierten.

Als Mass für die Bewegungsgeschwindigkeit (in Hunderstelsekunden) der jeweils aktiven Hand wurde für jede Versuchsperson ein Mittelwert über alle Aufgaben hinweg gebildet. Die Bewertung der kontralateralen Mitbewegungen wurde mit den Qualitätsmassen Dauer und Ausmass der stärksten Mitbewegungen während der gemessenen Zeit vorgenommen:

- Die *Dauer auftretender Mitbewegungen* während der durch die jeweilige Bewegungssequenz definierten Zeitperiode wird auf einer 11-Punkte-Skala angegeben:

Beispiele:

0 = keine Mitbewegungen

5 = Mitbewegungen während 50% der gemessenen Zeit

10 = Mitbewegungen während der gesamten gemessenen Zeit

- Das *Ausmass der stärksten Mitbewegungen* wird auf einer 4-Punkte-Skala bewertet:

0 = keine Mitbewegungen

1 = schwache Mitbewegungen

2 = mässige Mitbewegungen

3 = Bewegungen analog zur aktiven Extremität oder Bewegungen der ganzen Extremität

- Für jede Versuchsperson wurde ein *Wert für Mitbewegungen* gebildet, der von den Autoren des Tests in dieser Form bisher nicht verwendet worden war. Er setzt sich aus dem Produkt *Dauer x Ausmass aufgetretener Mitbewegungen* für jede Aufgabe zusammen. Der Mittelwert pro Versuchsperson über alle 5 Aufgaben hinweg ging in die weiterführenden Auswertungen ein.

### 2.4.3 Masse für die Beidhandkoordinationsleistung

Durchführungsdauer und Weglänge der Pixelspur werden im BMC-Programm für den Beginn der Aktivität ab Startpunkt und ab Startlinie der Bahn getrennt ausgegeben. Um die Auswirkungen von Startunsicherheiten bei den Versuchspersonen zu minimieren, wurden in dieser Arbeit nur die Daten ab Startlinie berücksichtigt. Die hier verwendeten Masse waren:

- *Zeit*: Die Durchführungszeiten pro Aufgabendurchgang werden auf Hundertstelsekunden genau ausgegeben, die maximale Dauer vom Startpunkt zur Ziellinie der Bahn beträgt programmgemäss 60 Sekunden.
- *Wegfehler*: Da als Mass für die Qualität der Beidhandkoordinationsleistung interessiert, wie gross die Abweichung der tatsächlich zurückgelegten von der idealen Weglänge ist, wurde in dieser Arbeit nicht der zurückgelegte Gesamtweg, sondern die Differenz zwischen tatsächlich zurückgelegter Weglänge ab Startlinie und der idealen Weglänge als Qualitätsmass für die Beidhandkoordinationsleistung gewählt.

Die idealen Weglängen für die hier verwendeten Steigungswinkel der vorgegebenen Bahnen wurden wie folgt berechnet:

Die maximale horizontale und die maximale vertikale Weglänge beträgt 20000 Pixel. Damit ist die ideale Weglänge für die horizontale Bahn und die vertikale Bahn von der Startlinie zum Zielpunkt je 20000 Pixel. Weitere Weglängen können nach der Geradengleichung  $y = mx$  berechnet werden. Dabei ist  $m = \tan(\text{Steigungswinkel})$  und  $0 \leq x \leq 20000$ . Die ideale Weglänge wird mit dem Satz des Pythagoras berechnet:

$$\text{Weglänge} = \sqrt{(x_{\text{ziel}} - x_{\text{start}})^2 + (y_{\text{ziel}} - y_{\text{start}})^2} = \sqrt{20000^2 + (m \cdot 20000)^2}$$

Tabelle 2.5

*Ideale Weglängen der hier verwendeten Rotationsbedingungen ab Startlinie der Bahn*

| Steigungswinkel | 0° bzw. 90° | 112° bzw. 158°     | 45° bzw. 135°      |
|-----------------|-------------|--------------------|--------------------|
| ideale Weglänge | 20000       | 21571 <sup>a</sup> | 28284 <sup>a</sup> |

<sup>a</sup> auf die nächste ganze Zahl gerundet

Ein Rechenbeispiel:

- Steigungswinkel 135° mit der idealen Weglänge von 28284
- experimentell zurückgelegte Pixelspur ergibt Weglänge von 34000
- daraus resultiert der Wegfehler:  $34000 - 28284 = \underline{5716}$

Da in den asynchronen Rotationsbedingungen, in denen eine Hand schneller drehen muss als die andere, Abweichungen von der geforderten Idealweglänge sowohl nach links als auch nach rechts denkbar sind und sich dadurch die Pixelspur gegenüber der Idealspur theoretisch auch verkürzen kann – z. B. dreht eine Hand im Verhältnis zur anderen Hand sehr viel schneller als gefordert – wird der resultierende Wegfehler in einem solchen Fall positiv gesetzt ( $\cdot (-1)$ ).

Für jede Versuchsperson wurde für die verschiedenen Rotationsbedingungen ein Mittelwert für Zeiten und Wegfehler gebildet. In den einhändigen Bedingungen wurden alle Aufgaben (**A1**, **A2**) zu einem Wert zusammengefasst, für die beidhändigen Rotationsbedingungen (**B**, **C**, **D**) wurde jeweils ein Mittelwert über die drei Aufgabendurchgänge pro Bedingung gebildet (vgl. Tab. 2.3-4).

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Beobachtungen während der Untersuchung

Die Rahmenbedingungen der Studie haben sich als dem Alter der Kinder angemessen und ihrer Leistungsmotivation förderlich erwiesen. Alle Kinder haben bis zur letzten Sitzung hoch motiviert mitgemacht. Dazu trug nicht nur der Einsatz von Token bei, sondern auch, dass die einzelnen Untersuchungsblocks im Rahmen von 30 Minuten – mit Ausnahme der Prä- und Postuntersuchung – kurz und aufgelockert gestaltet waren, und der Untersuchungsablauf von jedem Kind überschaut und durch Abstreichen in einem Zeitplan kontrolliert werden konnte. Zur Aufrechterhaltung der Motivation trug sicher auch bei, dass die Eltern häufig aus eigenem Interesse die Teilnahme ihres Kindes an der Studie unterstützten. Wiederholte Begründungen für ihr Einverständnis waren: Unterstützung einer Forschung, die anderen Kindern nützt; ihr Kind kann etwas lernen; sie selbst erfahren etwas über ihr Kind; der persönliche Kontakt zur Untersucherin ist möglich; es handelt sich um eine seriöse Untersuchung; und weil sie von anderen Eltern gehört hatten, dass ihrem Kind die Teilnahme Spass gemacht hat.

Viele Kinder verbalisierten während des Koordinationstrainings ihre Wahrnehmung von Leistungsverbesserung und wollten früher erzielte Leistungen anschauen. Dies wurde ihnen nach Abschluss der gesamten Untersuchung gewährt. Etwa 30 % der Kinder versuchten bewusst, ihre Bewegungen zu kontrollieren, indem sie überlegten und ausprobierten, wie es gehen könnte. Vier Kinder äusserten spontan, dass Mitbewegungen der stillen Hand in den unilateralen Rotationsbewegungen die Leistung der aktiven Hand beeinträchtigen würden. Alle Versuchspersonen schienen im Verlauf des Trainings gelernt zu haben, die jeweilige Bewegungsrichtung oder Bewegungsart zu antizipieren, bevor sie die Bewegung ausführten, schauten z. B. in die Richtung, in die gedreht werden sollte oder nahmen die Bewegung mit den Händen, dem Oberkörper oder Kopf vorweg. Zu Beginn verkrampfte Handhabung der Kurbeln trat bei fast allen auf, blieb aber nur bei einem 5jährigen Kind über das gesamte Training hinweg bestehen. Zeitweilige Konzentrationsschwächen wurden bei drei Kindern beobachtet. Durch entsprechende Intervention der Testleiterin war eine adäquate Durchführung der Aufgaben jedoch auch bei diesen Kindern gewährleistet.

Die Instruktionen, wie sie hier verwendet wurden (vgl. Kap. 2.2.6.2), haben sich bewährt: Korrekturbewegungen wie alternierende Aktivität der Hände oder ein Zurücksteuern in die Bahn traten nicht sichtbar auf.

## 3.2 Händigkeit

Annett (1985) unterteilt die Ausprägung der Lateralität in der „peg-moving“-Aufgabe anhand der durchschnittlichen Zeitdifferenz (in Sekunden) zwischen beiden Händen in vier Kategorien:

Tabelle 3.1

*Differenzwert-Kategorien für die Händigkeit nach Annett (1985)*

| <i>Lateralität</i>         | <i>Differenzwertbereiche (sek)</i> |
|----------------------------|------------------------------------|
| Rechtshändigkeit           | $\geq 1$                           |
| gemischte Rechtshändigkeit | $< 1 > 0$                          |
| gemischte Linkshändigkeit  | $> -1 < 0$                         |
| Linkshändigkeit            | $\leq -1$                          |

Alle an der Untersuchung teilnehmenden Versuchspersonen waren Rechtshänder in Bezug auf ihre Handpräferenz. Die Prüfung der manuellen Geschicklichkeit ergab 27 reine Rechtshänder, 6 gemischte Rechtshänder und 1 gemischten Linkshänder mit einem Differenzwert von -0.08 (Tab. 7.1 im Anhang). Dies entspricht der typischen Verteilung der Lateralität in der rechtshändigen Bevölkerung (Annett, 1985).

## 3.3 Intelligenz

Alle Versuchspersonen verfügten aufgrund der Ergebnisse der Columbia Mental Maturity Scale CMM über mindestens durchschnittliche intellektuelle Fähigkeiten mit mittleren T-Werten von 62 (Minimum = 47, Maximum = 75) bei den 5-6jährigen und 65 (Minimum = 53, Maximum = 79) bei den 7-8jährigen. Nach dem U-Test von Mann-Whitney ergaben sich in Bezug auf Altersgruppe und Geschlechtszugehörigkeit keine signifikanten Gruppenunterschiede.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Leistungserfassung dargestellt. Die statistischen Prüfungen der Unterschieds- und Zusammenhangshypothesen erfolgten mit nicht-parametrischen Verfahren, da bei der hier untersuchten kleinen Stichprobe die Daten nach Prüfung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest in allen verwendeten Verfahren erwartungsgemäss nicht normalverteilt waren. Berechnungen, Diagramme und statistische Auswertungen wurden in Excel und mit Hilfe des Statistik-Programms SPSS durchgeführt.

### 3.4 Aufmerksamkeit

Für die Gesamtsuchzeit in der visuellen Aufgabe und für den relativen Fehleranteil in der akustischen Aufgabe im Test für geteilte Aufmerksamkeit „Suchquadrat +2“ bestanden zwischen beiden Altersgruppen nach dem Mann-Whitney-Test hoch signifikante Unterschiede (jeweils  $p < 0.001$ ). Der relative Fehleranteil war als Ausdruck mangelnder Fähigkeit, die Aufmerksamkeit gleichzeitig auf zwei Reizquellen zu richten, bei den 5-6jährigen Kindern fast dreimal so hoch wie bei den 7-8jährigen.

Tabelle 3.2

*Suchzeiten in der visuellen und Fehlerwerte in der akustischen Aufgabe im „Suchquadrat +2“*

|                           | <i>Gesamtsuchzeit (n=34)</i> |                     | <i>relativer Fehleranteil (n=34)</i> |                    |
|---------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------|
|                           | <i>5-6jährige</i>            | <i>7-8jährige</i>   | <i>5-6jährige</i>                    | <i>7-8jährige</i>  |
| <i>Mittelwert</i>         | 212.98 <sup>a</sup>          | 144.11 <sup>a</sup> | 0.646 <sup>b</sup>                   | 0.215 <sup>b</sup> |
| <i>Standardabweichung</i> | 47.12                        | 33.97               | 0.233                                | 0.161              |

<sup>a</sup> in Sekunden; <sup>b</sup> relativer Fehleranteil an der Gesamtzahl der aufgetretenen relevanten Reize

Erwartungsgemäss waren daher auch die Rangkorrelationen nach Spearman zwischen a) dem Alter der Kinder und der Gesamtsuchzeit von  $r = -.64$  und b) dem Alter der Kinder und dem relativen Fehleranteil in der Parallelaufgabe von  $r = -.75$  beide sehr signifikant ( $p < 0.01$ ). Diese Ergebnisse zeigen die Entwicklungsabhängigkeit der Aufmerksamkeitsleistungen und sprechen dafür, dass die hier verwendeten Aufgaben den Aspekt der Aufmerksamkeitsteilung in dieser Altersstufe befriedigend abbilden konnten.

### 3.5 Beidhandkoordination

Der Einfluss von Reifungsfaktoren auf den Trainingsverlauf konnte weitgehend ausgeschlossen werden: Zwischen Trainingsgruppe 1 und 2 (Wartegruppe, vgl. Tab. 2.1) ergaben sich zum Messzeitpunkt t2 in Bezug auf Durchführungszeiten und Wegfehler, über alle trainierten bimanuellen Rotationsbedingungen hinweg berechnet, keine signifikanten Unterschiede in der Beidhandkoordinationsleistung (Tab. 3.3).

Tabelle 3.3

*Leistungsvergleich im Messzeitpunkt t2 zwischen beiden Trainingsgruppen*

|                          | <i>Trainingsgruppe 1 (n=20)</i> | <i>Trainingsgruppe 2 (n=14)</i><br><i>Wartegruppe</i> | <i>Wilcoxon-Test</i> |
|--------------------------|---------------------------------|---|----------------------|
| <i>Zeit (Sekunden)</i>   | 14.1 (3.0)                      | 15.0 (3.4)  | p = 0.323 ns         |
| <i>Wegfehler (Pixel)</i> | 3309 (1969)                     | 3977 (2200)   | p = 0.436 ns         |

Anmerkung: Dargestellt sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen.

### 3.5.1 Leistungen bei isolierter Aktivität einer Hand

In der Einstiegsaufgabe zu Beginn jeder Sitzung wurden die rechte und linke Hand einzeln in Aussen- und Innenrotation getestet (vgl. Abb. 2.2). Ausgewertet wurde über alle Rotationsbedingungen hinweg, da Händigkeitsaspekte nicht Gegenstand dieser Untersuchung waren. Die Korrelationskoeffizienten der sehr signifikanten bis hoch signifikanten Spearman-Korrelationen zwischen dem Alter der Versuchspersonen und ihren Leistungen in Bewegungsgeschwindigkeit und Bewegungsqualität in Tabelle 3.4 zeigen, dass die Altersabhängigkeit der Leistung nach dem Training der Beidhandkoordination noch deutlicher abgebildet wurde.

Tabelle 3.4

*Korrelationen zwischen Alter und Leistung in den Einhandbedingungen des BMC-Tests*

| <i>Korrelation</i>                             | <i>Zeit</i> | <i>Wegfehler</i> |
|--|-------------|------------------|
| <i>Alter mit Leistung zum Messzeitpunkt t1</i> | -.59 ***    | -.48 **          |
| <i>Alter mit Leistung zum Messzeitpunkt t6</i> | -.73 ***    | -.63 ***         |

Spearman-Korrelationen: \*\* p < 0.01; \*\*\* p < 0.001

Beide Altersgruppen konnten sich in der Geschwindigkeit, mit der sie die Bewegungen ausführten, zwischen Prä- und Posttest hoch signifikant (p < 0.001) verbessern. Die jüngeren Kinder brauchten im Prätest im Durchschnitt 12.2 Sekunden vom Start- zum Zielpunkt der vorgegebenen Bahn, während die älteren Kinder nur 9.4 Sekunden benötigten. In der Leistungserhebung nach dem Training hatten die 5-6jährigen die Leistung der älteren Kinder in der Erstuntersuchung erreicht und benötigten ebenfalls nur noch durchschnittlich 9.4 Sekunden für einen Weg. Die 7-8jährigen konnten sich auf 7.1 Sekunden verbessern. Der Wegfehler, Ausdruck auftretender Mitbewegungen, verringerte sich bei den 5-6jährigen sehr signifikant (p < 0.01) und bei den 7-8jährigen hoch signifikant (p < 0.001) (Tab. 7.3 im Anhang).

### 3.5.2 Beidhändige Koordinationsleistung im Prätest und Training

In die Auswertung der Beidhandkoordinationsleistungen gingen jeweils die Daten des ersten Trainingsdurchgangs jeder Sitzung ein, da davon ausgegangen wird, dass die initiale Erhebung den erreichten Leistungsstand der Kinder zum jeweiligen Messzeitpunkt am besten widerspiegelt. Im Training der bimanuellen Koordinationsleistung wurden drei verschiedene Rotationsbedingungen mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad untersucht, dies sind **B1** (↻↻), **C1** (↻↷) und **D1** (↷↷) (vgl. Kap. 2.3.1.2). Im folgenden werden zuerst die Ausgangsleistungen der beiden Altersgruppen im BMC-Test dargestellt und dann beschrieben, wie sich die Leistungen im Verlauf des Trainings in Bezug auf die verschiedenen Anforderungen an die Koordination und im Vergleich zwischen beiden Altersstufen verändert haben. Da nicht alle Rotationsbedingungen in Bezug auf die jeweils zurückzulegende Wegstrecke die gleiche Vorgabe hatten (Rotationsbedingung **C1** (↻↷) und **C2** (↷↻) haben programmgemäss kürzere Bahnen), konnten die Leistungsvergleiche zwischen den Rotationsbedingungen nur zum Teil mit Hilfe ihrer absoluten Werte vorgenommen werden. Dies wurde in Kauf genommen, da in der vorliegenden Arbeit in erster Linie die mit Trainingseffekten in Zusammenhang stehenden Leistungsveränderungen interessierten.<sup>3</sup>

#### 3.5.2.1 Ausgangsuntersuchung mit dem Beidhandkoordinationstest

Wie in Abbildung 3.1 (Tab. 7.4 im Anhang) dargestellt, waren die Unterschiede zwischen beiden Altersgruppen bei den Durchführungszeiten in allen Rotationsbedingungen signifikant bis hoch signifikant. Bedingt durch hohe Variabilitäten innerhalb der Altersgruppen im Wegfehler wurden die Unterschiede dort weniger deutlich abgebildet, waren jedoch ebenfalls überwiegend signifikant (Abb. 3.2). Am deutlichsten mit durchgängig hoch signifikanten Unterschieden ( $p < 0.001$ ) in beiden Massen war der Altersgruppeneffekt in den spiegelbildlichen synchronen Rotationsbedingungen **B1** (↻↻) und **B2** (↷↷) (Beispiel Abb. 7.1 im Anhang). Der wesentlich höhere Zeitbedarf und Wegfehler in den beiden parallelen synchronen Rotationsbedingungen **D1** (↷↷) und **D2** (↻↻) kam überwiegend durch Richtungswechsel einer Hand zustande (Abb. 3.1, 3.2; Beispiel Abb. 7.3 im Anhang).

---

<sup>3</sup> In die Auswertung der Beidhandkoordinationsleistung im Prätest und im Training gingen alle Versuchspersonendaten ein. Die Prä-Post-Vergleiche und Transfereffekte wurden auf der Basis von 33 statt 34 Versuchspersonen ausgewertet, da die Posttest-Daten einer Versuchsperson durch einen PC-Aufzeichnungsfehler nach Durchführung aller Aufgaben verloren gegangen waren, ebenfalls war dies der Fall in den Trainingssitzungen t3, t4 und t5. In die Auswertung der Follow-up-Effekte gingen die Daten von allen 15 Kindern ein, die an der Nachuntersuchung teilgenommen hatten.

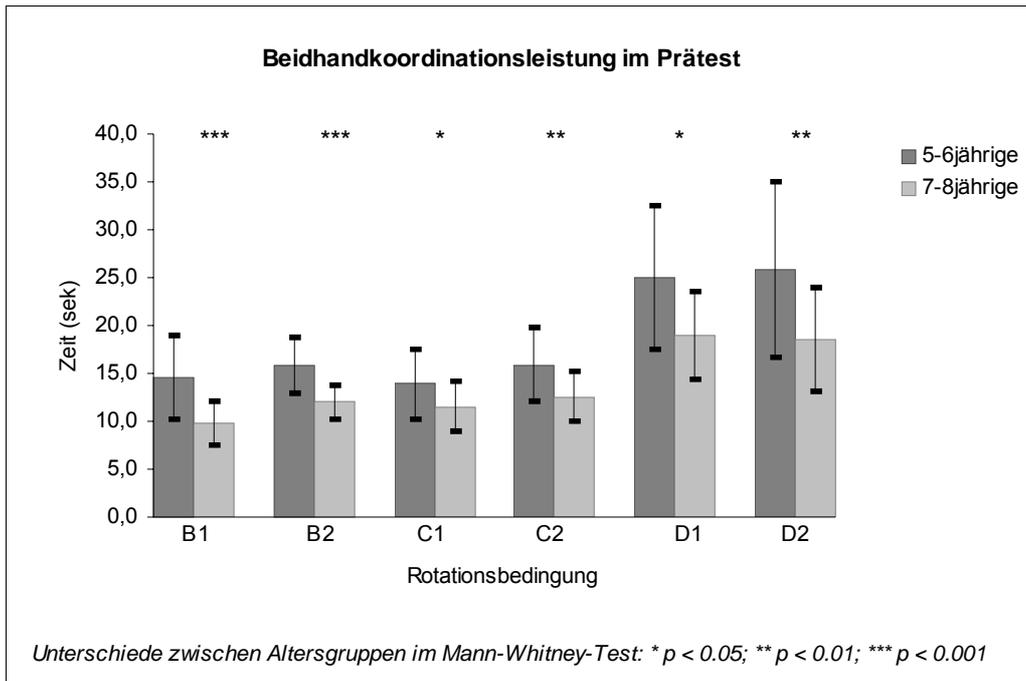


Abbildung 3.1 Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen.

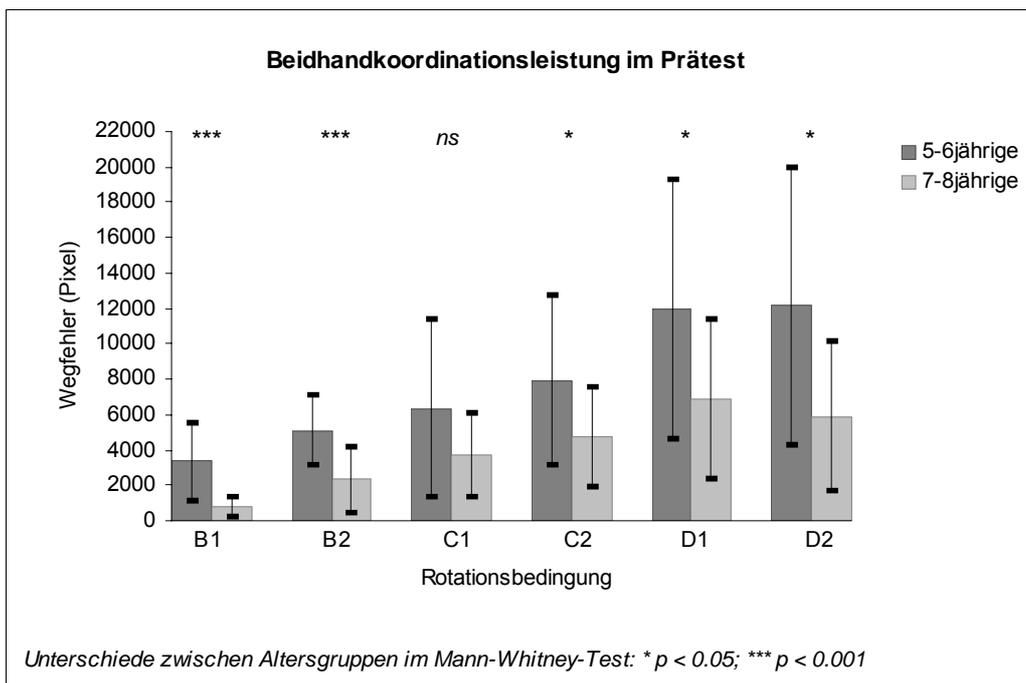


Abbildung 3.2 Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen.

### 3.5.2.2 Trainingsverlauf und Trainingseffekte

Zur Beschreibung der Trainingsverläufe wurden die Trainingseffekte mit dem Friedman-Test, einer nicht-parametrischen einfaktoriellen Varianzanalyse bei Messwiederholung, statistisch abgesichert.

Alle Versuchspersonen konnten ihre Fähigkeit, beide Hände koordiniert zu bewegen, im Verlaufe des Trainings verbessern, die jüngere Altersgruppe durchgehend in einem höheren Ausmass. Bei den 5-6jährigen Kindern betrug der Zeitgewinn über alle Rotationsbedingungen hinweg mindestens 3.3 und höchstens 15.9 Sekunden, bei den 7-8jährigen mindestens 2.8 und höchstens 8.7 Sekunden. Im Wegfehler war das Ausmass der Leistungsverbesserung zwischen beiden Altersgruppen mit  $p < 0.05$  signifikant verschieden, für die Durchführungszeiten wurde das Signifikanzniveau mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0.058$  nur knapp verfehlt. Dieser Alterseffekt war, wie die nach den drei Rotationsbedingungen **B1** (UU), **C1** (Uu) und **D1** (UU) differenzierten Abbildungen 3.3-5 zeigen, vor allem auf die Leistungsverbesserung in der spiegelbildlichen synchronen Rotationsbedingung bei den jüngeren Kindern zurückzuführen.

Beide Masse für die Beidhandkoordinationsleistung veränderten sich im Verlaufe des Trainings unterschiedlich: In den Durchführungszeiten ergaben sich für alle trainierten Rotationsbedingungen sehr signifikante ( $p < 0.01$ ) Korrelationen. Im Wegfehler war der Zusammenhang zwischen Prä- und Posttest-Leistung nur in der spiegelbildlichen synchronen Rotation bedeutsam ( $p < 0.01$ ), für die asynchrone und parallele Rotation hingegen nicht signifikant (Tab. 3.5). Das heisst Kinder, die im Prätest relativ zur untersuchten Stichprobe eine schlechtere Leistung erbrachten, zeigten im Posttest eine deutlichere Verbesserung der Leistung und umgekehrt.

Tabelle 3.5

*Korrelationen zwischen Prä- und Posttest-Leistung in den Trainingsbedingungen*

|                  | <i>B1</i> | <i>C1</i> | <i>D1</i> |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Zeit</i>      | .69 **    | .46 **    | .57 **    |
| <i>Wegfehler</i> | .63 **    | .34 ns    | .19 ns    |

Spearman-Korrelationen: \*\*  $p < 0.01$

### 3.5.2.2.1 Trainingseffekte in den Durchführungszeiten

Für die Durchführungszeiten ergaben sich in allen drei Trainingsbedingungen zwischen Prä- und Posttest hoch signifikante ( $p < 0.001$ ) Trainingseffekte. Besonders hohe Zeitgewinne traten in der parallelen Rotationsbedingung auf: Dort benötigten die jüngeren Versuchspersonen zur Durchführung der Aufgaben nach dem Training im Durchschnitt mit 12.6 Sekunden nur noch halb so viel Zeit wie in der Ausgangsuntersuchung mit 25.1 Sekunden. Auch die älteren Kinder konnten ihre Bewegungsgeschwindigkeit in diesen Aufgaben auf knapp die Hälfte von 18.9 auf 10.3 Sekunden verringern (Tab. 7.7 im Anhang). Dieser enorme Zeitgewinn kommt unter anderem dadurch zustande, dass die Kinder gelernt hatten, die parallele Drehung beider Hände während der zurückzulegenden Strecke aufrecht zu erhalten und nicht in eine spiegelbildliche Koordinationsbewegung umzuschlagen, was Zeit und Weg kostet (Beispiel Abb. 7.3 im Anhang).

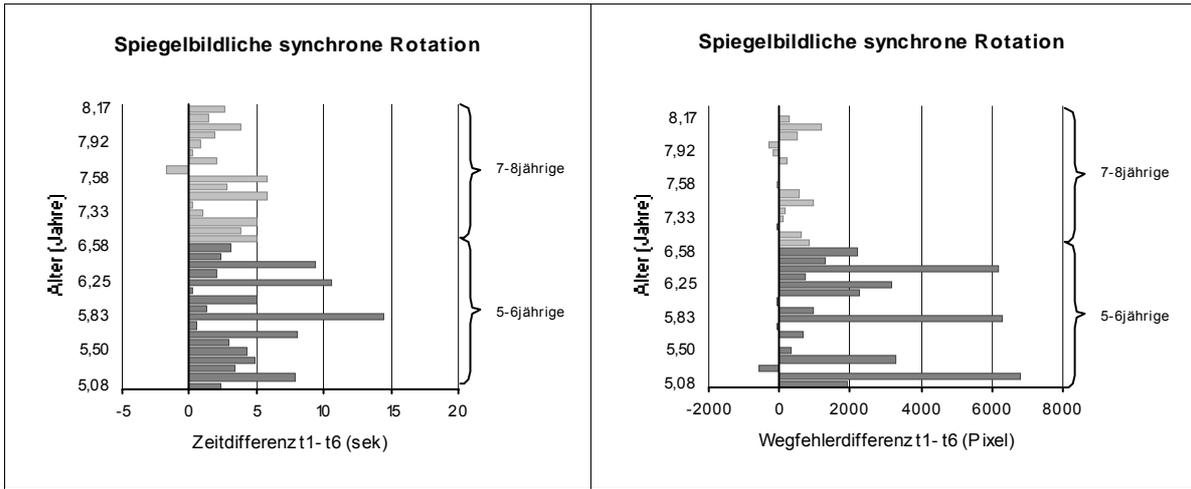


Abbildung 3.3 Leistungsdifferenz zwischen Prä- und Posttest in **B1** (UU). Jeder Balken zeigt das Ausmass der Leistungsveränderung einer Versuchsperson an.

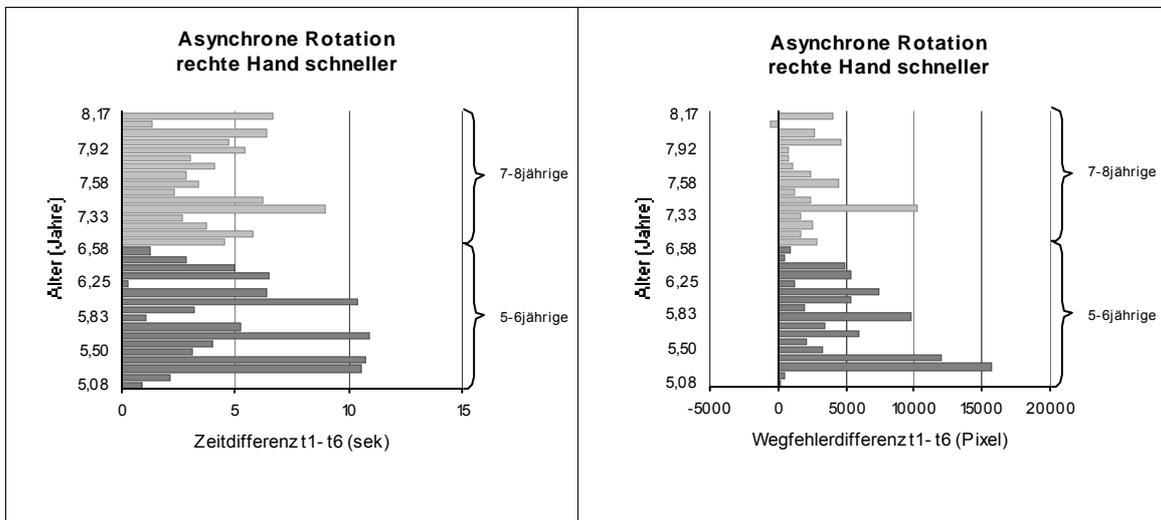


Abbildung 3.4 Leistungsdifferenz zwischen Prä- und Posttest in **C1** (UU).

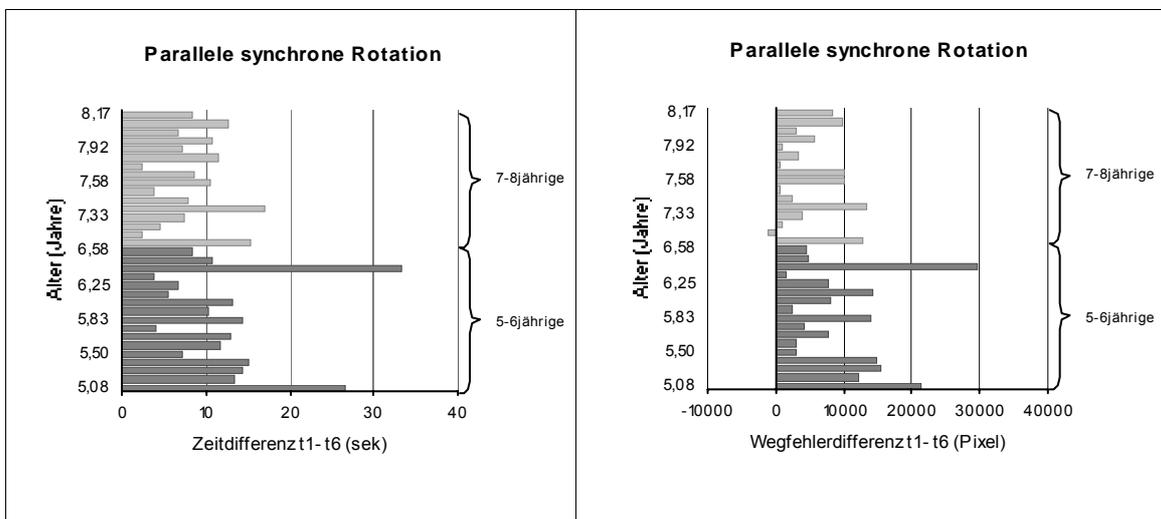


Abbildung 3.5 Leistungsdifferenz zwischen Prä- und Posttest in **D1** (UU).

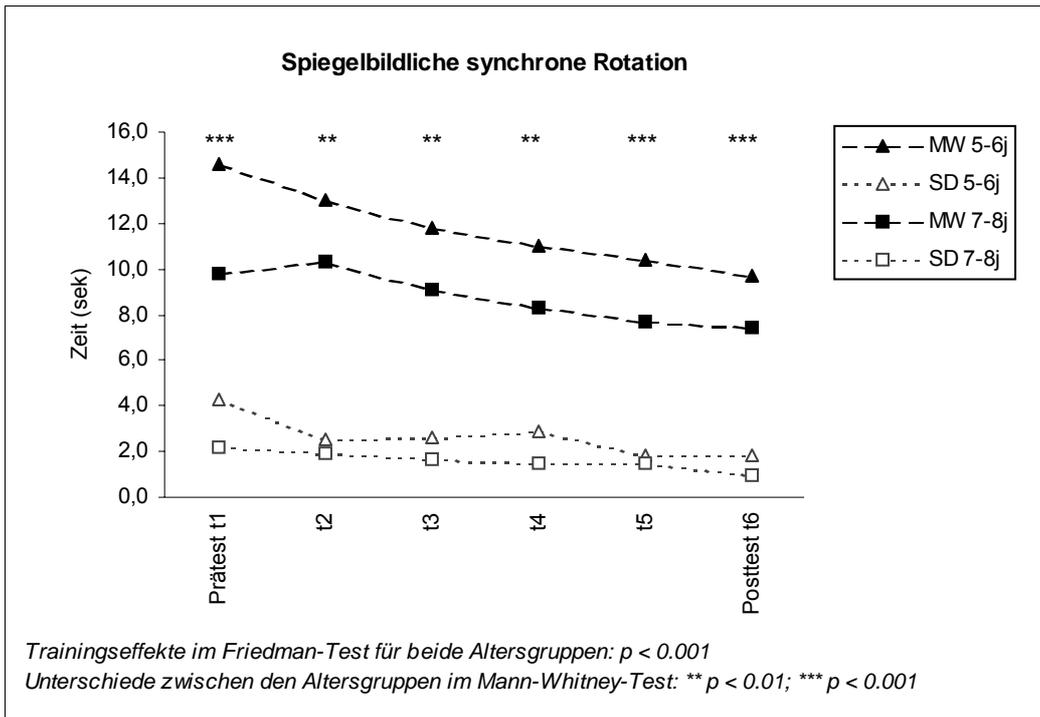


Abbildung 3.6 Beidhandkoordinationsleistung in **B1** (↻↻) im Trainingsverlauf .<sup>4</sup>

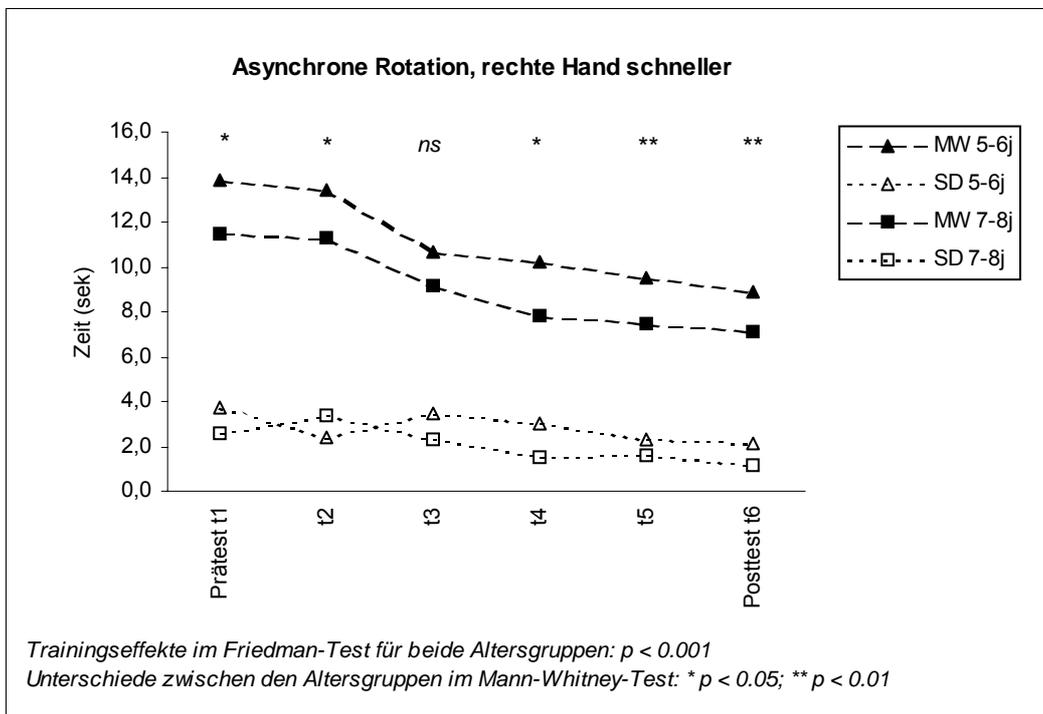


Abbildung 3.7 Beidhandkoordinationsleistung in **C1** (↻↻) im Trainingsverlauf (vgl. Fussnote 4).

<sup>4</sup> Die Abstände zwischen den Messzeitpunkten sind nicht äquidistant (vgl. Kap. 2.3.1).

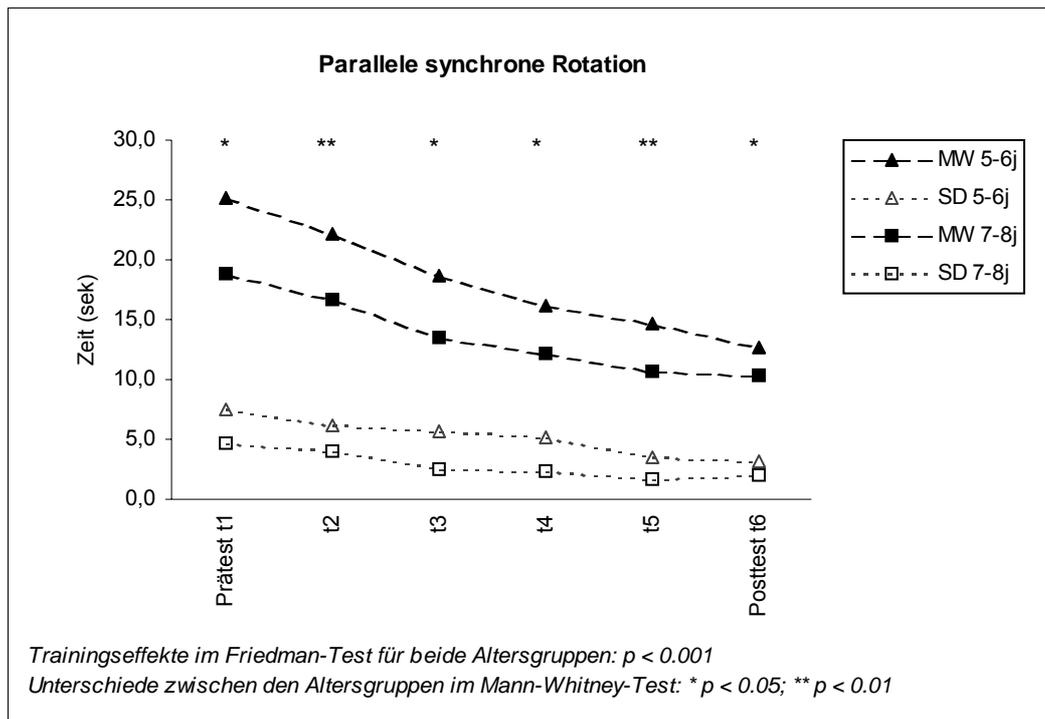


Abbildung 3.8 Beidhandkoordinationsleistung im Trainingsverlauf in D1 (↻↻) (vgl. Fussnote 4).

Wie die Diagramme in Abbildung 3.6-8 zeigen, war der Verlauf der Verbesserung in den Zeiten in allen Bedingungen und in beiden Altersgruppen ähnlich. Ein Leistungsplateau schien nach 6 Sitzungen noch nicht erreicht zu sein. Die Variabilität der Leistungen nahm ebenfalls ab und blieb zu allen Messzeitpunkten auf einem konstant niedrigen Niveau (Tab. 7.7 im Anhang).

Betrachtet man die Leistungen in Bezug auf Altersgruppenunterschiede und ihre Entwicklung im Verlauf des Trainings, wird deutlich, dass zumindest auf der Ebene des Signifikanzniveaus keine Leistungsannäherung zwischen beiden Altersgruppen stattfand. Die deutlichsten Altersunterschiede mit sehr hohen Signifikanzen wurden in der spiegelbildlichen synchronen Koordination gefunden (Abb. 3.6).

### 3.5.2.2.2 Trainingseffekte in den Weglängen

Für den Wegfehler als Mass für die Qualität der Beidhandkoordination ergab sich ein anderes Bild: Die Variabilität der Koordinationsleistung innerhalb beider Altersgruppen war sehr hoch. Sie nahm mit der Leistungsverbesserung im Verlauf des Trainings zwar ab, blieb aber durchgehend relativ hoch (Abb. 3.9-11; Tab. 7.8 im Anhang).

In der spiegelbildlichen synchronen Rotationsbedingung zeigten die 7-8jährigen Kinder im Trainingsverlauf leicht ansteigende Leistungen, jedoch so gering, dass das Signifikanzniveau verfehlt wurde. Insbesondere war die Anfangsleistung tendenziell besser als die Leistung im zweiten Messzeitpunkt. Für die 5-6jährigen war der Trainingseffekt dagegen hoch signifikant ( $p < 0.001$ ) – wie für beide Altersgruppen in den übrigen beiden Rotationsbedingungen. Ein zumindest vorläufiges Leistungsplateau

schien in Bezug auf die zurückgelegte Wegstrecke bei den 7-8jährigen ab Messzeitpunkt t5 erreicht zu sein. Bei den 5-6jährigen war dies nur in der einfachsten Rotationsbedingung mit spiegelbildlich synchronen Bewegungen der Fall (Abb. 3.9).

Differentielle Effekte zwischen den Rotationsbedingungen ergaben sich auch in Bezug auf die Altersunterschiede. In der spiegelbildlichen synchronen Rotationsbedingung war der Anfangsunterschied in der Leistung zwischen den älteren und den jüngeren Kindern enorm gross ( $p < 0.001$ ) und blieb dann mit einer leichten Abnahme im Verlauf des Trainings bestehen. In der asynchronen Rotationsbedingung, in der sich die rechte Hand schneller bewegte als die linke, wurde das Signifikanzniveau überwiegend verfehlt, mitbedingt durch hohe Leistungsvariabilität innerhalb beider Altersgruppen. In der parallelen Rotationsbedingung, in der beide Hände im Uhrzeigersinn bewegt wurden, nahm der Altersunterschied im Verlauf des Trainings ab. Im letzten Messzeitpunkt wurde kein signifikanter Leistungsunterschied mehr gemessen (Abb. 3.11, Tab. 7.8 im Anhang).

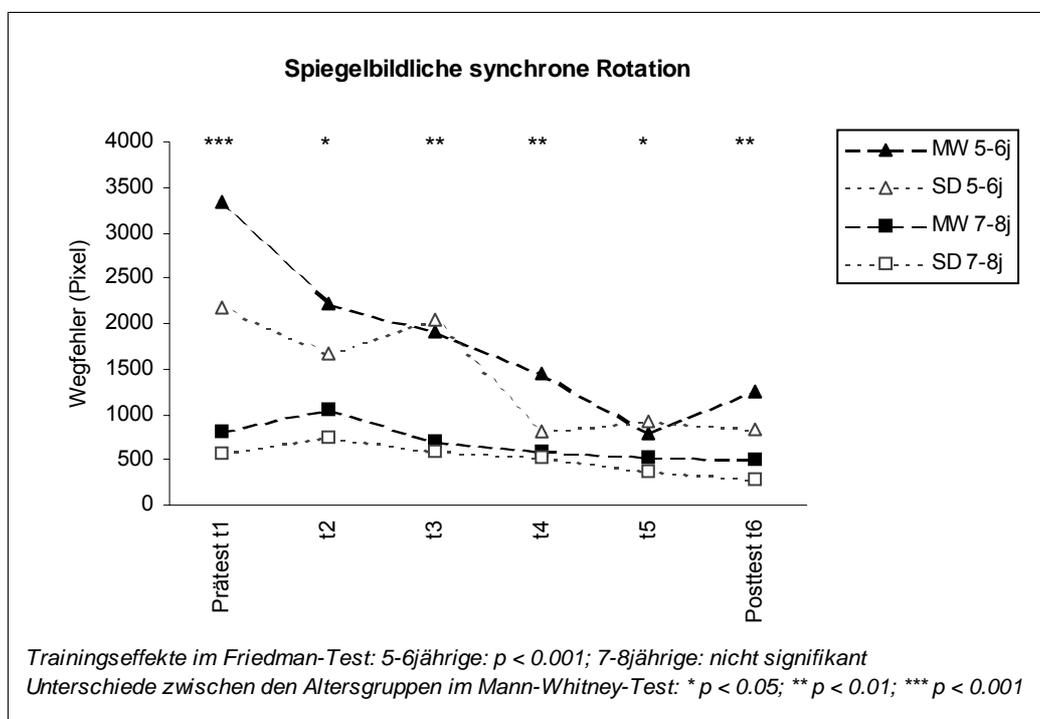


Abbildung 3.9 Beidhandkoordinationsleistung in B1 (↻↻) im Trainingsverlauf (vgl. Fussnote 4).

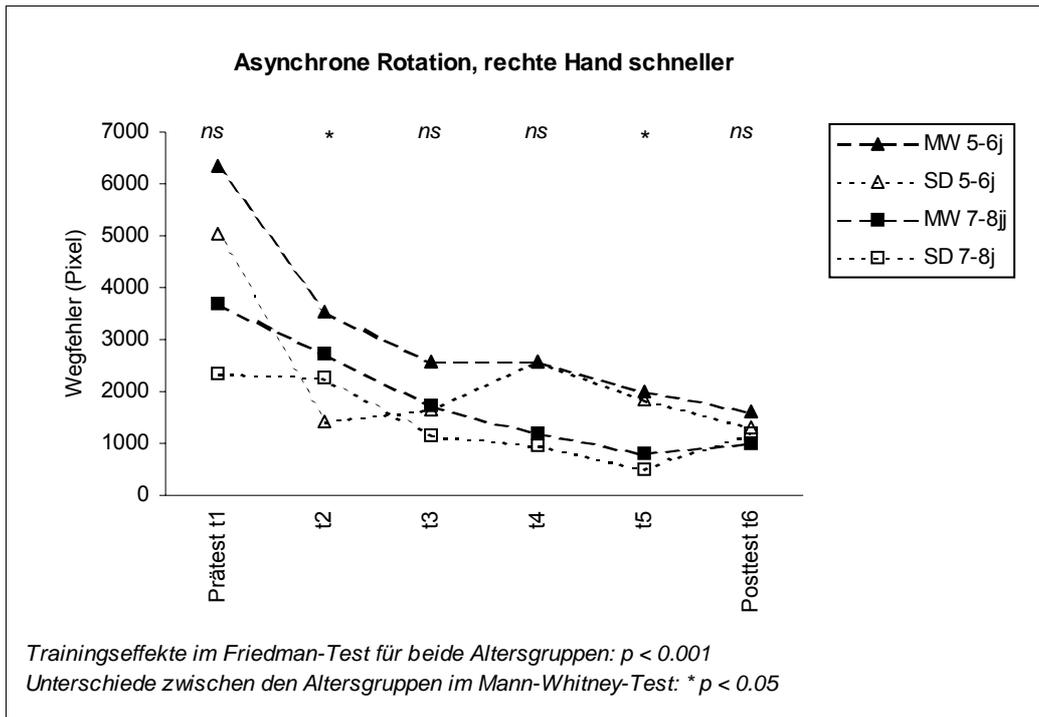


Abbildung 3.10 Beidhandkoordinationsleistung in C1 (U<sup>U</sup>) im Trainingsverlauf (vgl. Fussnote 4).

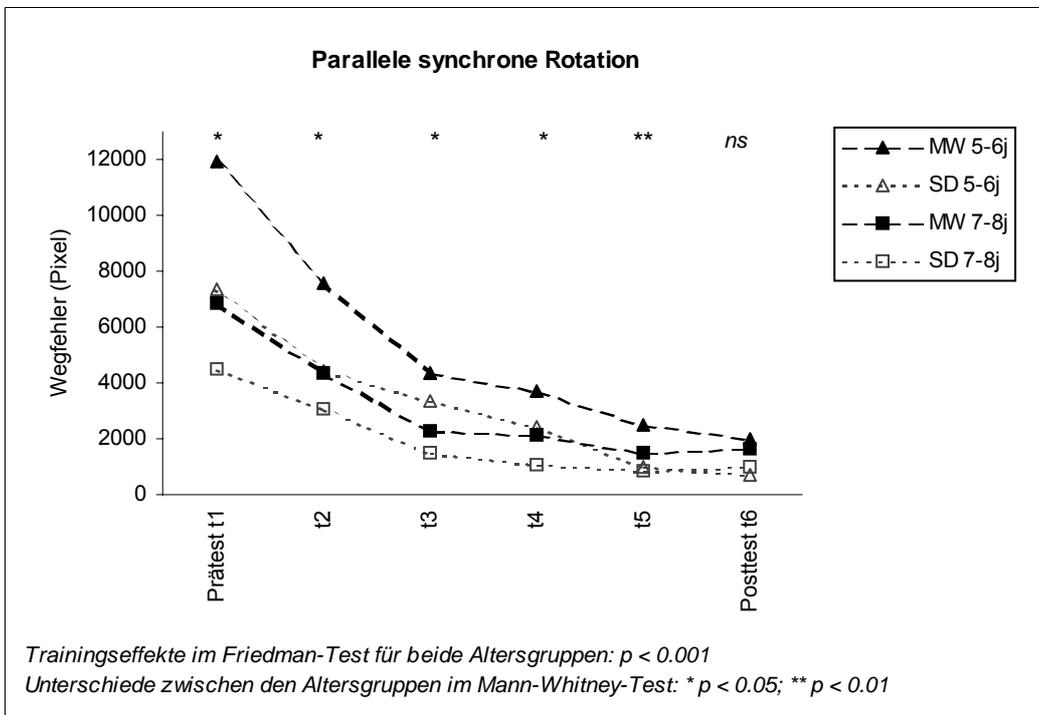


Abbildung 3.11 Beidhandkoordinationsleistung in D1 (U<sup>U</sup>) im Trainingsverlauf (vgl. Fussnote 4).

### 3.5.3 Follow-up-Prüfungen

Vier Wochen nach Trainingsende wurden die Beidhandkoordinationsleistungen von 15 Versuchspersonen erneut erhoben und mit den Leistungen der letzten Trainingssitzung verglichen. Wie Tabelle 3.6 zeigt, konnten die Versuchspersonen ihren Leistungsstand in den trainierten Bewegungsbedingungen überwiegend aufrechterhalten. In allen Leistungsvergleichen gab es zwischen den Kindern grosse Schwankungen.

Tabelle 3.6

*Follow-up-Effekte in der Beidhandkoordinationsleistung (n = 15)*

| Rotations-<br>bedingung | Messzeitpunkt | Zeit (sek) |              | Wegfehler (Pixel) |              |
|-------------------------|---------------|------------|--------------|-------------------|--------------|
| A1 und A2               | t6            | 8.0 (1.6)  | p = 0.094 ns | 407 (423)         | p = 0.078 ns |
|                         | t7            | 7.7 (1.2)  |              | 235 (251)         |              |
| B1                      | t6            | 8.0 (1.5)  | p = 0.776 ns | 759 (575)         | p = 0.307 ns |
|                         | t7            | 8.0 (1.2)  |              | 675 (522)         |              |
| C1                      | t6            | 7.8 (1.4)  | p = 0.191 ns | 1103 (883)        | p = 0.460 ns |
|                         | t7            | 8.2 (2.0)  |              | 1148 (969)        |              |
| D1                      | t6            | 10.7 (2.3) | p = 0.029 *  | 1557 (789)        | p = 0.191 ns |
|                         | t7            | 11.4 (2.8) |              | 2091 (1371)       |              |

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten im Wilcoxon-Test: \* p < 0.05

Anmerkung: Angegeben sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen.

In den Einhandbedingungen wurden weitere Leistungsverbesserungen gemessen, deren Ausmass das Signifikanzniveau nur knapp verfehlte. Schaut man sich die Daten der einzelnen Versuchspersonen an, traten die Verbesserungen überwiegend in der jüngeren Altersgruppe auf. Die 5-6jährigen Kinder konnten ihre Mitbewegungen in der nicht-aktiven Hand, die sich im Wegfehler niederschlugen, in der Follow-up-Prüfung nochmals durchschnittlich um fast die Hälfte reduzieren (Abb. 3.12).

Hingegen waren in der Follow-up-Prüfung die Durchführungszeiten in der bimanuellen Rotationsbedingung, in der beide Hände parallel im Uhrzeigersinn bewegt wurden, wieder signifikant (p < 0.05) länger. Diese Leistungsver schlechterung in der Zeit trat, wie Abbildung 3.13 zeigt, vor allem in der jüngeren Altersgruppe auf, also im Vergleich zur einhändigen Rotation in umgekehrter Richtung. Bei den Wegfehlern trat dieser Effekt ebenfalls, aber weniger deutlich auf.

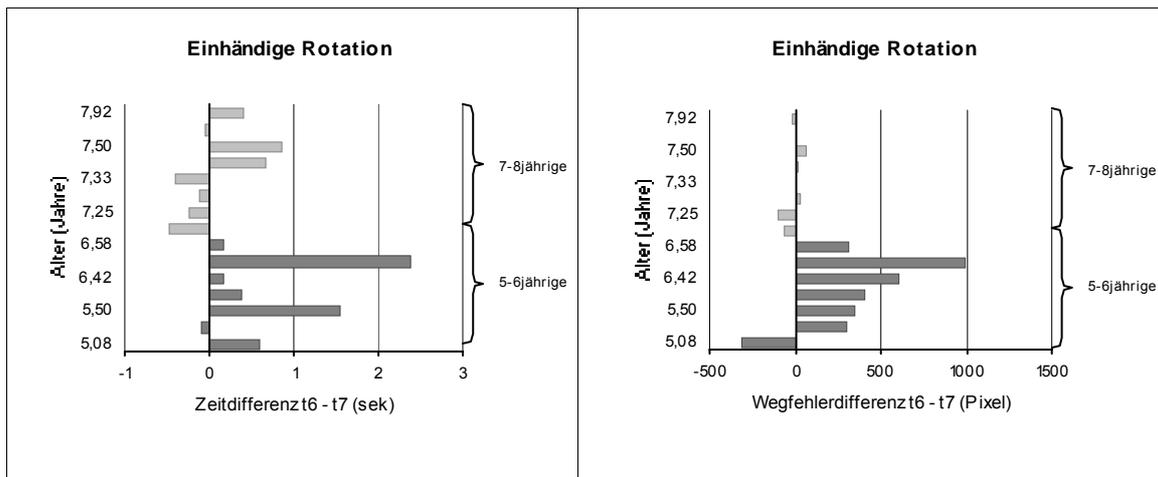


Abbildung 3.12 Leistungsdifferenz zwischen Posttest und Follow-up-Test in **A1** und **A2**.

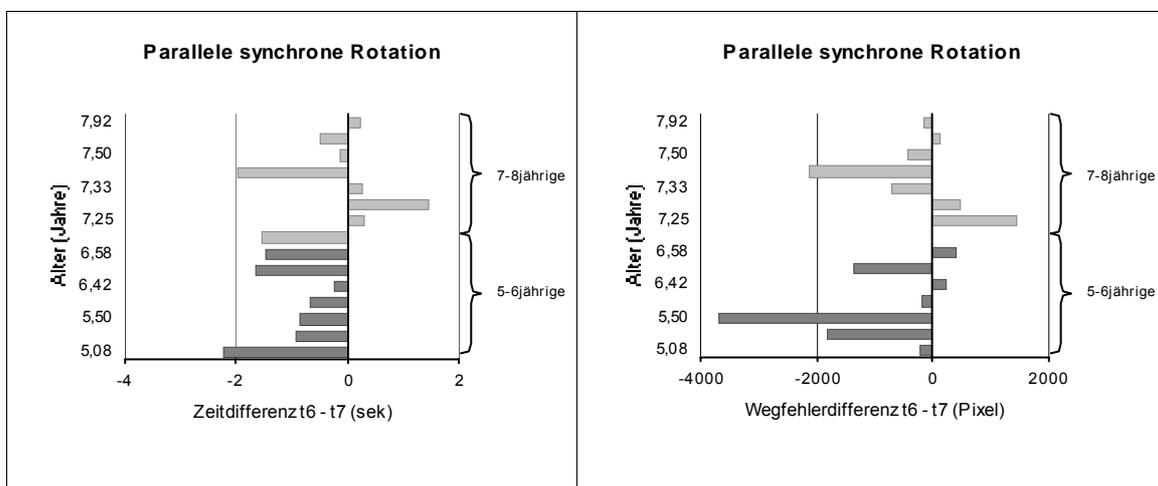


Abbildung 3.13 Leistungsdifferenz zwischen Posttest und Follow-up-Test in **D1** (UU).

### 3.5.4 Transfereffekte

Die hier getroffene Annahme, dass es sich bei den ausgewählten Transferaufgaben **B2** (UU), **C2** (UÜ) und **D2** (UU) tatsächlich um zwar vergleichbare, aber tendenziell schwierigere Bewegungsanforderungen im Vergleich zu den Trainingsaufgaben handelt (vgl. Kap. 2.3.1.2), konnte anhand der Daten bestätigt werden. Rotationsbedingung **B2** (UU) war sehr signifikant ( $p < 0.01$ ), im Wegfehler hoch signifikant ( $p < 0.001$ ) schwieriger als **B1** (UÜ), ebenso war **C2** (UÜ) sehr signifikant ( $p < 0.01$ ) schwieriger als **C1** (UÜ). Bedingung **D2** (UU) unterschied sich im Schwierigkeitsgrad nicht signifikant von **D1** (UU) (vgl. Abb. 3.1, 3.2; Tab. 7.5 im Anhang).

Zur Prüfung von Transfereffekten wurden die nicht geübten Rotationsbedingungen **B2** (UU), **C2** (UÜ) und **D2** (UU) auf Leistungsunterschiede zwischen Prä- und Posttest getestet. Die Datenauswertung ergab differentielle Effekte: Für die Durchführungszeiten liess sich ein Transfereffekt nachweisen. Die Zeiten in allen drei Rotations-

bedingungen verbesserten sich in beiden Altersgruppen sehr signifikant ( $p < 0.01$ ) (Abb. 3.14, Tab. 7.9 im Anhang), wohingegen sich im Qualitätsmass zwar eine durchgängige Abnahme der Weglängendifferenzen und ihrer Standardabweichungen in allen Aufgaben zeigte, das Signifikanzniveau wurde jedoch bei den 5-6jährigen in Bedingung **B2** (↺↺) und **D2** (↺↺) und bei den 7-8jährigen in Bedingung **C2** (↺↺) knapp verfehlt. Signifikante Leistungsunterschiede zwischen Prä- und Posttest im Wegfehler zeigten die jüngeren Kinder nur in Bedingung **C2** (↺↺), und die älteren Kinder in den Bedingungen **B2** (↺↺) und **D2** (↺↺) (Abb. 3.15, Tab. 7.9 im Anhang).

Sicherlich spielen die hohen Leistungsstreuungen innerhalb der Altersgruppen für diese insgesamt schwächeren Effekte im Qualitätsmass Wegfehler eine zusätzliche Rolle. Nimmt man die Trainingsaufgaben und vergleicht die Leistungsverbesserung vom Prätest zur ersten Trainingssitzung (Messzeitpunkt t1 versus t2) zeigt sich aber, dass es sich dabei wohl eher um einen Testwiederholungseffekt handelt. Zur Beantwortung dieser Frage wurden Effektgrößen nach folgender Formel berechnet:

$$d' = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma_D} \cdot \sqrt{2} \quad (\text{Bortz \& Döring, 2002, S. 606})$$

Im Leistungsvergleich Prätest versus Posttest in den Transferaufgaben lagen die Effektgrößen zwischen 0.411 und 1.087. Entsprechend lagen sie im Vergleich zwischen Messzeitpunkt t1 und t2 in den Trainingsaufgaben zwischen 0.486 und 1.313. Der Transfereffekt im Zeitmass spiegelt sich dagegen in grösseren Effektstärken zwischen 1.098 und 2.140 wider. Im Leistungsvergleich zwischen Messzeitpunkt t1 und t2 für die Durchführungszeiten waren sie wieder kleiner mit 0.086 und 0.948 (vgl. auch Tab. 7.6 im Anhang).

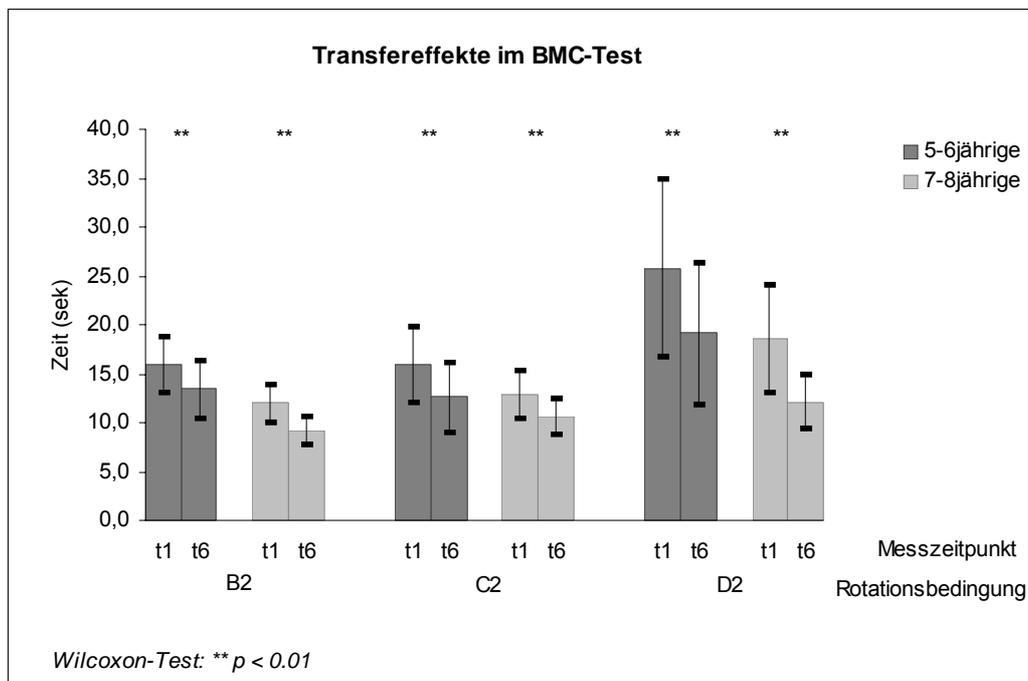


Abbildung 3.14 Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen.

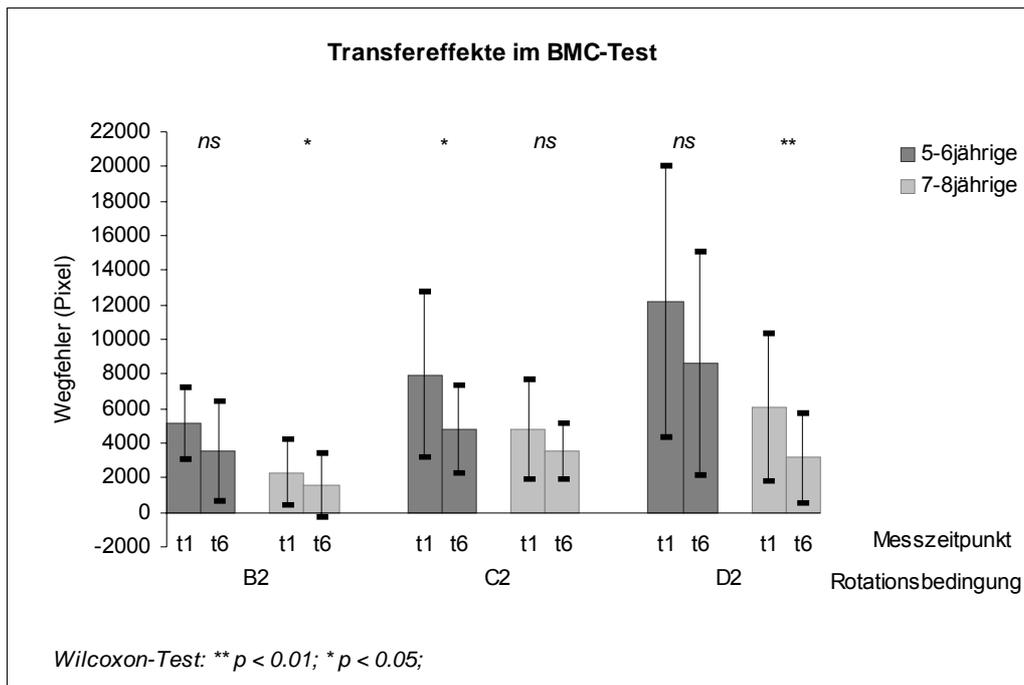


Abbildung 3.15 Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen.

### 3.6 Neuromotorik

Zur Beantwortung der Frage, ob das Beidhandkoordinationstraining einen generalisierenden Einfluss auf die Inhibitionsfähigkeit von altersentsprechenden assoziierten Bewegungen hat, wurden die Daten der Neuromotorik-Untersuchung im Hinblick auf Altersunterschiede und auf Testwiederholungs-Effekte ausgewertet. Zwischen beiden Testzeitpunkten lag das Beidhandkoordinationstraining. Um beide Altersstufen vergleichen zu können, musste bei der Aufgabe „sequentielle Fingerbewegungen“ die Bewegungsgeschwindigkeit der 7-8-jährigen in 3/5tel der gemessenen Zeit angegeben werden, da die 7-8-jährigen die Übung gemäss Testanweisung 5 mal ausgeführt hatten, gegenüber 3maliger Ausführung bei den 5-6-jährigen. In der Postmessung fehlten bei einem 7-jährigen Knaben die Daten für Zeit und Mitbewegungen von Aufgabe 2. Sie wurden durch die Mittelwerte der Altersgruppe in dieser Aufgabe ersetzt. Durch einen Aufzeichnungsfehler bei der Videoaufnahme gingen die Daten von 6 Kindern zur Einschätzung von Mitbewegungen verloren, so dass in die hiervon betroffenen Auswertungen jeweils die Daten von 28 statt 34 Kindern eingingen (vgl. Tab. 7.1 im Anhang).

Trainingsgruppe 2 (Wartegruppe) begann ihr Koordinationstraining erst nach einer durchschnittlichen Wartezeit von 4 Wochen nach dem BMC-Prätest. Es ist deshalb wichtig festzustellen, dass vor Beginn der Intervention keine Leistungsunterschiede zwischen beiden Studiengruppen (Trainingsgruppe 1 und Trainingsgruppe 2) bestehen, was nachgewiesen werden konnte: Beide Gruppen unterschieden sich in keiner ihrer Leistungen signifikant voneinander, weder im ersten Test noch im Wiederholungstest nach dem Training der Beidhandkoordination. Bei den Mitbewegungen ergab sich die in

der Literatur häufig erwähnte hohe Variabilität in beiden Altersstufen (vgl. Largo et al., 2001b), und es traten bei Aktivität der nicht-dominanten Hand mehr Mitbewegungen auf als bei Aktivität der dominanten Hand (z. B. Todor & Lazarus, 1986; Muggli, 1997) (Tab. 3.9, 7.10 im Anhang).

### 3.6.1 Testwiederholungs-Effekte

#### 3.6.1.1 Geschicklichkeit der Hände

In der Bewegungsgeschwindigkeit wurden im ersten Test und im Wiederholungstest nach dem Beidhandkoordinationstraining sehr signifikante bis hoch signifikante Altersunterschiede für beide Hände gefunden (Tab. 3.7).

Tabelle 3.7

*Geschicklichkeit im Neuromotorik-Test vor und nach dem Beidhandkoordinationstraining*

|  | <i>Bewegungsgeschwindigkeit (sek)</i> |                          | <i>Unterschiede zwischen Altersgruppen<sup>b</sup></i> |
|--|---------------------------------------|--------------------------|--|
|  | <i>5-6jährige (n=17)</i>              | <i>7-8jährige (n=17)</i> |  |
| <i>dominante Hand</i>                                    |                                       |                          |  |
| <i>erster Test</i>                                       | 7.64 (0.91)                           | 6.59 (0.66)              | $p < 0.000$ ***  |
| <i>Testwiederholung</i>                                  | 7.22 (1.01)                           | 6.20 (0.80)              | $p = 0.003$ **   |
| <i>Unterschiede zwischen Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> | $p = 0.004$ **                        | $p = 0.049$ *            |  |
| <i>nicht-dominante Hand</i>                              |                                       |                          |  |
| <i>erster Test</i>                                       | 8.49 (1.43)                           | 7.06 (0.75)              | $p = 0.001$ **   |
| <i>Testwiederholung</i>                                  | 7.89 (1.19)                           | 6.62 (0.93)              | $p = 0.001$ **   |
| <i>Unterschiede zwischen Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> | $p = 0.013$ *                         | $p = 0.010$ *            |  |

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test; <sup>b</sup> Mann-Whitney-Test; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$

Anmerkung: Dargestellt sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen.

Die Testwiederholungseffekte fielen eher wider Erwarten ebenfalls statistisch bedeutsam aus: Beide Altersgruppen zeigten in der Testwiederholung signifikant bessere ( $p < 0.05$ ), bei den 5-6jährigen für die dominante Hand sehr signifikant bessere Leistungen ( $p < 0.01$ ) als im ersten Test (Tab. 3.7). Wurden die Daten vor und nach dem Training der Beidhandkoordination getrennt nach beiden Trainingsgruppen ausgewertet, ergaben sich für die Bewegungsgeschwindigkeit differentielle Effekte. Die Versuchspersonen der Trainingsgruppe 1, die nach einem durchschnittlichen Abstand von 29 Tagen zwischen Test und Testwiederholung erneut getestet worden waren, zeigten im Geschicklichkeitsmass keine signifikanten Unterschiede. In Trainingsgruppe 2 (Wartegruppe), die nach einem durchschnittlichen Abstand von 50 Tagen nachuntersucht

worden war, wurden dagegen sehr signifikante Unterschiede ( $p < 0.01$ ) in Richtung schnellere Bewegungsgeschwindigkeit gefunden (Tab. 3.8). Wie eine spätere Feinauswertung des Beitrags einzelner Aufgaben zu diesen Effekten zeigte (vgl. unten), liess sich die höhere Bewegungsgeschwindigkeit der Trainingsgruppe 2 in der Testwiederholung durch die Leistungsverbesserung beider Hände in den Aufgaben „Pro- und Supination“ und „sequentielle Fingerbewegungen“ erklären. Auch die Kontrollgruppe, die im Abstand von 4 Wochen ausschliesslich mit dem Zürcher Neuromotorik-Test untersucht worden war, wies eher wider Erwarten zwischen beiden Testzeitpunkten statistisch bedeutsame Testwiederholungseffekte auf (vgl. Tab. 7.11 im Anhang).

Tabelle 3.8

*Geschicklichkeit im Neuromotorik-Test vor und nach dem Beidhandkoordinationstraining. Vergleich zwischen den Trainingsgruppen*

|  | <i>dominante Hand</i> |                   | <i>nicht-dominante Hand</i> |                   |
|--|-----------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
|  | <i>5-6jährige</i>     | <i>7-8jährige</i> | <i>5-6jährige</i>           | <i>7-8jährige</i> |
| <i>alle Versuchspersonen (n=34)</i>                      |                       |                   |                             |                   |
| <i>erster Test</i>                                       | 7.64 (0.91)           | 6.59 (0.66)       | 8.49 (1.43)                 | 7.06 (0.75)       |
| <i>Testwiederholung</i>                                  | 7.22 (1.01)           | 6.20 (0.80)       | 7.89 (1.19)                 | 6.62 (0.93)       |
| <i>Unterschiede zwischen Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> | $p = 0.004^{**}$      | $p = 0.049^*$     | $p = 0.013^*$               | $p = 0.010^*$     |
| <i>Trainingsgruppe 1 (n=20)</i>                          | <i>alle Kinder</i>    |                   | <i>alle Kinder</i>          |                   |
| <i>erster Test</i>                                       | 7.11 (1.08)           |                   | 7.84 (1.45)                 |                   |
| <i>Testwiederholung</i>                                  | 6.86 (1.13)           |                   | 7.49 (1.30)                 |                   |
| <i>Unterschiede zwischen Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> | $p = 0.062$ ns        |                   | $p = 0.108$ ns              |                   |
| <i>Trainingsgruppe 2 (n=14)</i>                          | <i>alle Kinder</i>    |                   | <i>alle Kinder</i>          |                   |
| <i>erster Test</i>                                       | 7.13 (0.74)           |                   | 7.69 (1.17)                 |                   |
| <i>Testwiederholung</i>                                  | 6.50 (0.87)           |                   | 6.92 (1.07)                 |                   |
| <i>Unterschiede zwischen Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> | $p = 0.004^{**}$      |                   | $p = 0.001^{**}$            |                   |

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

Anmerkungen: Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen (in Sekunden). Die Unterschiede in der Bewegungsgeschwindigkeit zwischen Trainingsgruppe 1 und 2 sind zu keinem Testzeitpunkt signifikant. Die Irrtumswahrscheinlichkeiten im ersten Test und in der Testwiederholung reichen von  $p = 0.204$  bis  $p = 0.769$ .

### 3.6.1.2 Kontralaterale Mitbewegungen

Bei den Mitbewegungen im Zürcher Neuromotorik-Test zeigte sich ein differentieller Altersgruppeneffekt. Im ersten Test traten nur für die nicht-dominante Hand signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen auf, was wahrscheinlich bei der kleinen Stichprobe in der Gruppe der 5-6-jährigen auf die hohe interindividuelle Variabilität im Auftreten von Mitbewegungen zurückzuführen ist (vgl. Tab. 7.10 im Anhang).

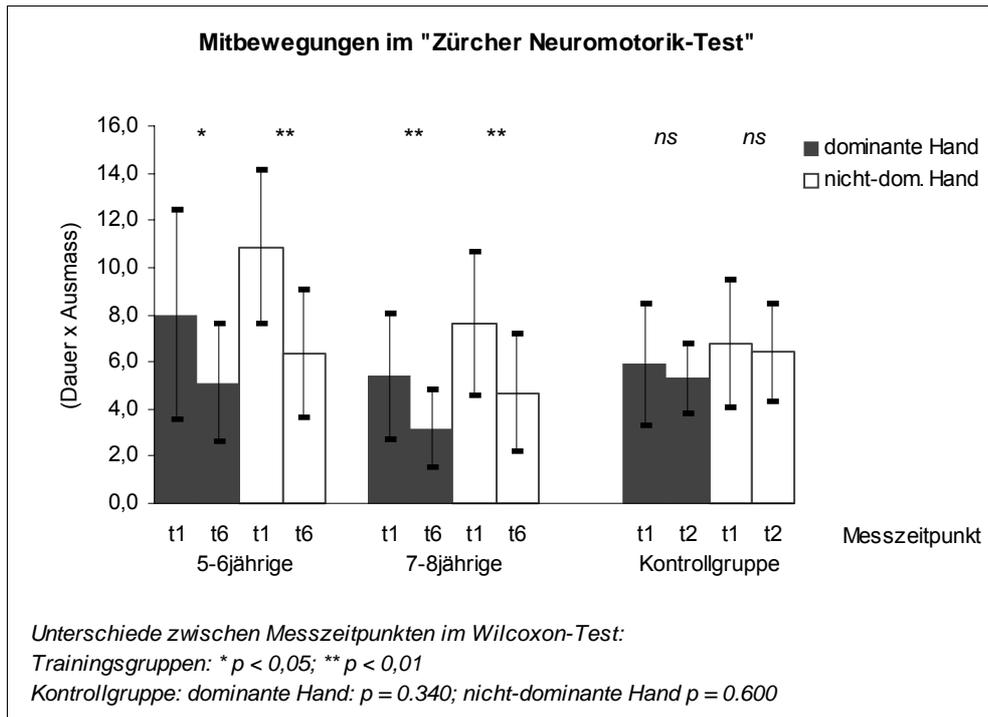


Abbildung 3.16 Testwiederholungs-Effekte im Ausmass kontralateraler Mitbewegungen vor und nach dem Training der Beidhandkoordination im Vergleich zur Kontrollgruppe.

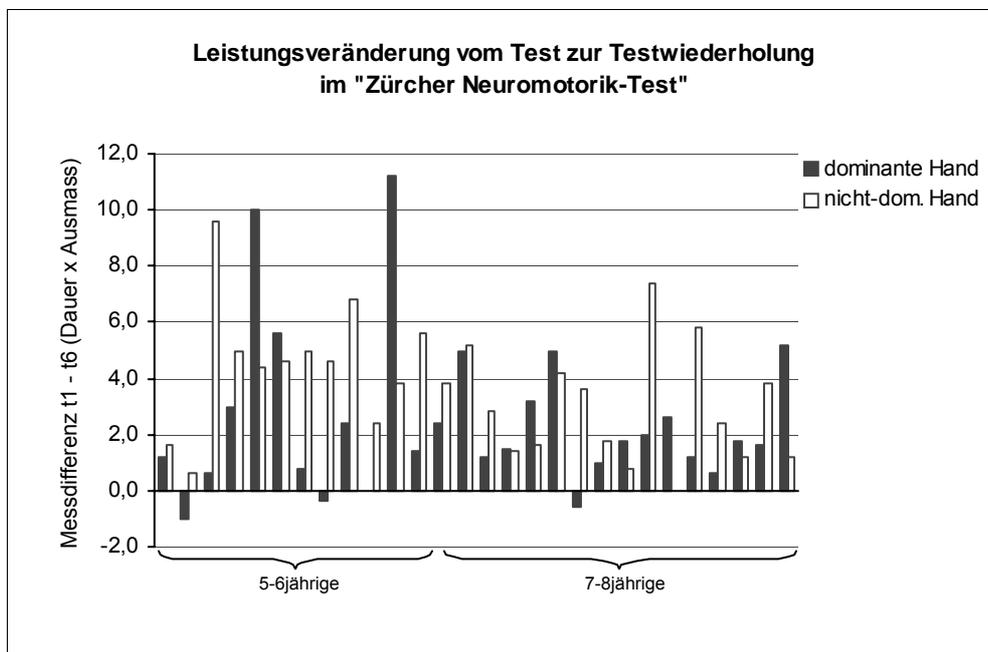


Abbildung 3.17 Ausmass der Reduktion kontralateraler Mitbewegungen im „Zürcher Neuromotorik-Test“ nach dem BMC-Training. Jedes Säulenpaar (dominante und nicht-dominante Hand) zeigt das Ausmass der Leistungsveränderung einer Versuchsperson an.

Der Testwiederholungseffekt war für beide Altersgruppen statistisch bedeutsam: In der Testwiederholung nach dem Beidhandkoordinationstraining wurden bei Aktivität

der dominanten Hand bei den jüngeren Kindern signifikant ( $p < 0.05$ ), im übrigen sehr signifikant ( $p < 0.01$ ) weniger Mitbewegungen im Vergleich zum ersten Test gefunden (Abb. 3.16). Dabei erreichten die jüngeren Versuchspersonen in der Testwiederholung in Bezug auf weniger Mitbewegungen im Mittel mindestens die Leistung der durchschnittlich 2 Jahre älteren Kinder im ersten Test (vgl. Tab. 7.10 im Anhang). Das individuelle Ausmass der Reduktion assoziierter Bewegungen variierte zwischen den Kindern stark (Abb. 3.17).

In Bezug auf das relative Ausmass der Reduktion von Mitbewegungen nach dem Beidhandkoordinationstraining unterschieden sich Trainingsgruppe 1 und 2 (Wartegruppe) nicht signifikant voneinander (Tab. 3.9); ein Hinweis dafür, dass Testwiederholungs- und Reifungsfaktoren kaum für diesen Effekt verantwortlich gemacht werden können. Auch die Ergebnisse der Kontrollgruppe Neuromotorik legen die Schlussfolgerung nahe, dass diese bedeutsame Reduktion assoziierter Bewegungen nach dem Beidhandkoordinationstraining damit in Zusammenhang stehen muss: Weder für die dominante noch für die nicht-dominante Hand wurden in der Kontrollgruppe signifikante Unterschiede zwischen beiden Testzeitpunkten gefunden (Tab. 7.11 im Anhang).

Tabelle 3.9

*Mitbewegungen im Neuromotorik-Test vor und nach dem Beidhandkoordinationstraining. Vergleich zwischen den Trainingsgruppen*

|  | <i>dominante Hand</i>     |                          | <i>nicht-dominante Hand</i> |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
|  | <u><i>5-6jährige</i></u>  | <u><i>7-8jährige</i></u> | <u><i>5-6jährige</i></u>    | <u><i>7-8jährige</i></u> |
| <i>alle Versuchspersonen (n=28)</i>                      |                           |                          |                             |                          |
| <i>erster Test</i>                                       | 8.00 (4.34)               | 5.38 (2.65)              | 10.87 (3.28)                | 7.61 (3.05)              |
| <i>Testwiederholung</i>                                  | 5.10 (2.48)               | 3.16 (1.67)              | 6.37 (2.71)                 | 4.67 (2.50)              |
| <i>Unterschiede zwischen Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> | $p = 0.013 *$             | $p = 0.001 **$           | $p = 0.002 **$              | $p = 0.001 **$           |
| <i>Trainingsgruppe 1 (n=16)</i>                          | <u><i>alle Kinder</i></u> |                          | <u><i>alle Kinder</i></u>   |                          |
| <i>erster Test</i>                                       | 6.43 (3.40)               |                          | 8.84 (3.28)                 |                          |
| <i>Testwiederholung</i>                                  | 4.25 (2.48)               |                          | 5.41 (2.47)                 |                          |
| <i>Unterschiede zwischen Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> | $p = 0.003 **$            |                          | $p = 0.000 ***$             |                          |
| <i>Trainingsgruppe 2 (n=12)</i>                          | <u><i>alle Kinder</i></u> |                          | <u><i>alle Kinder</i></u>   |                          |
| <i>erster Test</i>                                       | 6.60 (4.09)               |                          | 9.23 (3.85)                 |                          |
| <i>Testwiederholung</i>                                  | 3.62 (1.93)               |                          | 5.37 (3.04)                 |                          |
| <i>Unterschiede zwischen Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> | $p = 0.002 **$            |                          | $p = 0.003 **$              |                          |

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

Anmerkungen: Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen (Wert: Dauer x Ausmass). Die Unterschiede im Auftreten von Mitbewegungen zwischen Trainingsgruppe 1 und 2 (Wartegruppe) sind zu keinem Testzeitpunkt signifikant. Die Irrtumswahrscheinlichkeiten im ersten Test und in der Testwiederholung reichen von  $p = 0.767$  bis  $p = 0.982$ .

Es wurde noch geprüft, welchen Beitrag die einzelnen neuromotorischen Aufgaben für die verbesserte Fähigkeit, Mitbewegungen zu unterdrücken, hatten. Über alle

Versuchspersonen hinweg geprüft, waren dies für die dominante Hand die repetitiven ( $p < 0.05$ ) und sequentiellen Fingerbewegungen ( $p < 0.01$ ) sowie die Diadochokinese ( $p < 0.01$ ). Für die nicht-dominante Hand waren dies die Aufgaben Pro- und Supination ( $p < 0.01$ ), repetitive ( $p < 0.01$ ) und sequentielle Fingerbewegungen ( $p < 0.05$ ) sowie Diadochokinese ( $p < 0.01$ ). Keinen Beitrag zu den Testwiederholungseffekten leistete in allen Auswertungen das repetitive Handklopfen (Tab. 3.10).

Tabelle 3.10

*Beitrag einzelner Aufgaben aus dem Neuromotorik-Test zu den Testwiederholungseffekten*

| Aufgabe                       | Geschicklichkeit |                 | Mitbewegungen  |                 |
|-------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|
|                               | dominante Hand   | nicht-dom. Hand | dominante Hand | nicht-dom. Hand |
| repetitives Handklopfen       | -                | -               | -              | -               |
| Pro- und Supination           | ++               | ++              | -              | ++              |
| repetitive Fingerbewegungen   | -                | -               | +              | ++              |
| sequentielle Fingerbewegungen | ++               | ++              | ++             | +               |
| Diadochokinese                |                  |                 | ++             | ++              |

Unterschiede zwischen beiden Messzeitpunkten im Wilcoxon-Test: (-) = nicht signifikant; (+) =  $p < 0.05$ ; (++) =  $p < 0.01$

Anmerkungen: Die Angaben im Geschicklichkeitsmass entstammen der Wartegruppe (vgl. Text), die Angaben im Mass für Mitbewegungen beziehen sich auf alle Versuchspersonen.

### 3.7 Beidhandkoordination und andere Testmasse

Zur Beantwortung der Frage, wie die Fähigkeit von 5 bis 8jährigen Kindern, beide Hände koordiniert zu bewegen, mit ihrem Alter, ihrer Fähigkeit zur Teilung der Aufmerksamkeit und ihrem neuromotorischen Entwicklungsstand zusammenhängt, wurde die Beidhandkoordinationsleistung der Kinder im BMC-Prätest mit diesen Faktoren korreliert. In die Berechnung der Spearman-Korrelationen gingen mit Ausnahme der Zusammenhänge mit Mitbewegungen, die auf der Basis von 27 Versuchspersonen berechnet wurden, die Daten von 33 Versuchspersonen ein (vgl. Tab. 7.1 im Anhang).

Tabelle 3.11 zeigt überwiegend sehr signifikante ( $p < 0.001$ ) Korrelationen mit der Beidhandkoordinationsleistung zwischen  $r = .36$  und  $r = .69$  für das Alter der Kinder, ihre Fähigkeit zur Aufmerksamkeitsteilung und ihre Geschicklichkeit im Neuromotorik-Test. Eher erwartungswidrig waren sie zwischen der Beidhandkoordinationsleistung und den Mitbewegungen deutlich niedriger bis nicht signifikant. Statistisch bedeutsame Zusammenhänge mit dem Auftreten von Mitbewegungen zeigte die parallele Rotationsbedingung für die Durchführungszeiten. Mitbewegungen der linken Hand korrelierten

signifikant mit dem Wegfehler in den spiegelbildlichen und parallelen Rotationsbedingungen.

Tabelle 3.11

*Korrelationen zwischen der Beidhandkoordinationsleistung und anderen Testleistungen*

|  | <i>BMC Prätest Trainingsbedingungen</i> |           |           |                  |           |           |
|--|---|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|
|  | <i>Zeit</i>                             |           |           | <i>Wegfehler</i> |           |           |
|  | <i>B1</i>                               | <i>C1</i> | <i>D1</i> | <i>B1</i>        | <i>C1</i> | <i>D1</i> |
| <i>Alter Rang<sup>a</sup> (n=33)</i>                                 | .62 **                                  | .40 *     | .49 **    | .69 **           | .36 *     | .39 *     |
| <i>Geteilte Aufmerksamkeit<br/>relativer Fehleranteil (n=33)</i>     | .51 **                                  | .51 **    | .61 **    | .64 **           | .57 **    | .54 **    |
| <i>Neuromotorik Geschicklichkeit<br/>dominante Hand (n=33)</i>       | .59 **                                  | .58 **    | .65 **    | .60 **           | .65 **    | .51 **    |
| <i>Neuromotorik Geschicklichkeit<br/>nicht-dominante Hand (n=33)</i> | .67 **                                  | .47 **    | .57 **    | .62 **           | .65 **    | .54 **    |
| <i>Neuromotorik Mitbewegungen<br/>dominante Hand (=27)</i>           | .37 ns                                  | .22 ns    | .49 **    | .42 *            | .21 ns    | .29 ns    |
| <i>Neuromotorik Mitbewegungen<br/>nicht-dominante Hand (n=27)</i>    | .38 ns                                  | .22 ns    | .43 *     | .60 **           | .20 ns    | .40 *     |

<sup>a</sup> Um durchgängig positive Werte zu erhalten, wurde das Alter der Versuchspersonen in eine Rangreihe gebracht.  
Spearman-Korrelationen: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

Um noch mehr Information über die Bedeutung der einzelnen hier untersuchten Faktoren bzw. über ihre Vorhersagekraft für die Qualität der Koordinationsleistung und die erzielten Trainingseffekte zu erhalten, wurden die Daten einer schrittweisen Regressionsanalyse unterzogen. Um die Vorhersagekraft der jeweiligen Faktoren im Prätest derjenigen im Posttest gegenüberstellen zu können, wurden für die Kriteriumsvariablen Zeit und Wegfehler die Trainingsbedingungen **B1** (↺↺), **C1** (↺↻) und **D1** (↻↻) ausgewählt und die Daten pro Versuchsperson zu einem Wert zusammengefasst. Prädiktorvariablen waren das Alter der Kinder, ihre Fähigkeit zur Teilung der Aufmerksamkeit, ihre neuromotorische Geschicklichkeit und das Auftreten von Mitbewegungen. Der Zusammenhang zwischen Geschicklichkeit und Auftreten von Mitbewegungen einer Hand in den Aufgaben aus der Neuromotorik-Batterie wurde überprüft und fiel in der untersuchten Stichprobe erwartungsgemäss niedrig aus ( $r = .20$  und  $r = .22$ ), weshalb beide Leistungskennwerte aufgenommen wurden. Muggli (1997) beschreibt die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit, mit der eine Bewegung ausgeführt wird, und der Häufigkeit von Mitbewegungen als reziprok. Dies wird mit dem Einfluss von Stress erklärt, der zur Folge hat, dass sich Mitbewegungen unter Belastung (Geschwindigkeitsinstruktion) erhöhen, die Geschwindigkeit sich dagegen bis zu einem Optimum erhöht und dann wieder abnimmt und sich auch abhängig vom Alter unterschiedlich provozieren lässt. Eine inhaltlich weitgehende Unabhängigkeit zwischen Aufmerksamkeit und neuromotorischer Reife darf trotz teilweise bedeutsamer Interkorrelationen ebenfalls angenommen werden (vgl. Tab. 7.12, 7.13 im Anhang). Um für die Analyse eine Verbesserung der Normalverteilungen zu erreichen, wurden alle Daten bis auf die Altersrangreihe logarithmiert. Es gingen die Daten der 27 Versuchspersonen ein,

von denen für alle Variablen ein vollständiger Datensatz vorlag (vgl. Tab. 7.1 im Anhang).

Die Koordinationsleistungen im Prätest für die Durchführungszeiten wurden mit einer Varianzaufklärung von  $r^2 = .76$  ( $F = 24.565$ ;  $p < 0.001$ ) am besten durch die geteilte Aufmerksamkeit, Mitbewegungen und Geschicklichkeit der jeweils rechten Hand vorhergesagt. Keinen Vorhersagewert hatten das Alter der Kinder, Mitbewegungen und Geschicklichkeit der linken Hand.

Der Wegfehler im Prätest wurde mit  $r^2 = .53$  ( $F = 28.331$ ;  $p < 0.001$ ) am besten durch die neuromotorische Geschicklichkeit der linken Hand vorhergesagt (Tab. 3.12). Alle übrigen Faktoren konnten ausgeschlossen werden.

Tabelle 3.12

*Einflussfaktoren auf die Koordinationsleistung im Prätest in der linearen Regressionsanalyse*

| Prädiktoren  | Zeit |             | Wegfehler |             |
|--|------|-------------|-----------|-------------|
|  | Beta | Signifikanz | Beta      | Signifikanz |
| Alter Rang <sup>a</sup> (n=27)                               |      |             |           |             |
| Geteilte Aufmerksamkeit<br>relativer Fehleranteil (n=27)     | .385 | p = 0.019   |           |             |
| Neuromotorik Geschicklichkeit<br>dominante Hand (n=27)       | .388 | p = 0.003   |           |             |
| Neuromotorik Geschicklichkeit<br>nicht-dominante Hand (n=27) |      |             | .729      | p < 0.001   |
| Neuromotorik Mitbewegungen<br>dominante Hand (n=27)          | .347 | p = 0.016   |           |             |
| Neuromotorik Mitbewegungen<br>nicht-dominante Hand (n=27)    |      |             |           |             |

<sup>a</sup> Um durchgängig positive Werte zu erhalten, wurde das Alter der Versuchspersonen in eine Rangreihe gebracht.

Anmerkungen: Aufgeführt sind nur die Einflussvariablen als Ergebnis der schrittweisen Regressionsanalyse. Die leeren Felder zeigen die ausgeschlossenen Variablen.

Die besten Prädiktoren im Posttest für die Durchführungszeiten waren im Gegensatz zum Prätest das Alter der Versuchspersonen, aber wieder Mitbewegungen und Geschicklichkeit der jeweils rechten Hand. Die Varianzaufklärung betrug in diesem Fall  $r^2 = .74$  ( $F = 21.804$ ;  $p < 0.001$ ). Keinen Vorhersagewert hatten zu diesem Messzeitpunkt die geteilte Aufmerksamkeit und wiederum Geschicklichkeit und Mitbewegungen der linken Hand.

Die beste Vorhersagekraft für den Wegfehler im Posttest mit  $r^2 = .58$  ( $F = 16.637$ ;  $p < 0.001$ ) hatten die neuromotorische Geschicklichkeit der rechten Hand und die Mitbewegungen der linken Hand (Tab. 3.13). Alter, geteilte Aufmerksamkeit, Geschicklichkeit der linken Hand und Mitbewegungen der rechten Hand hatten keine signifikante Vorhersagekraft.

Tabelle 3.13

*Einflussfaktoren auf die Koordinationsleistung im Posttest in der linearen Regressionsanalyse*

| <i>Prädiktoren</i>   | <i>Zeit</i> |                    | <i>Wegfehler</i> |                    |
|--|-------------|--------------------|------------------|--------------------|
|  | <i>Beta</i> | <i>Signifikanz</i> | <i>Beta</i>      | <i>Signifikanz</i> |
| <i>Alter Rang<sup>a</sup> (n=27)</i>                                 | .391        | p = 0.008          |                  |                    |
| <i>Geteilte Aufmerksamkeit<br/>relativer Fehleranteil (n=27)</i>     |             |                    |                  |                    |
| <i>Neuromotorik Geschicklichkeit<br/>dominante Hand (n=27)</i>       | .391        | p = 0.004          | .618             | p < 0.001          |
| <i>Neuromotorik Geschicklichkeit<br/>nicht-dominante Hand (n=27)</i> |             |                    |                  |                    |
| <i>Neuromotorik Mitbewegungen<br/>dominante Hand (n=27)</i>          | .351        | p = 0.008          |                  |                    |
| <i>Neuromotorik Mitbewegungen<br/>nicht-dominante Hand (n=27)</i>    |             |                    | .296             | p = 0.043          |

<sup>a</sup> Um durchgängig positive Werte zu erhalten, wurde das Alter der Versuchspersonen in eine Rangreihe gebracht.

Anmerkungen: Aufgeführt sind nur die Einflussvariablen als Ergebnis der schrittweisen Regressionsanalyse. Die leeren Felder zeigen die ausgeschlossenen Variablen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Trainierbarkeit der Beidhandkoordination im noch unreifen Gehirn

Mit der vorliegenden Studie soll das Verständnis des Entwicklungsverlaufs der Beidhandkoordination gefördert werden. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Fähigkeit zur Ausführung komplexer bimanueller Koordinationsbewegungen beim gesunden Kind in einem Alter trainieren lässt, in dem sie noch nicht ausgereift ist. Auch in den schwierigsten Aufgaben sind statistisch bedeutsame Leistungsverbesserungen erreicht worden. Insbesondere sprechen die Ergebnisse dafür, dass der Zeitpunkt des Trainings, d. h. das Alter der Kinder, einen spezifischen Effekt auf den Leistungserfolg hat. Ich habe weiter gezeigt, dass andere entwicklungsabhängige Fähigkeiten – der Einsatz von Aufmerksamkeitsstrategien zur Bewältigung einer neuen motorischen Aufgabe sowie der neuromotorische Reifegrad – mit dem aktuellen Entwicklungsstand eines Kindes in der Beidhandkoordination zusammenhängen und eine Leistungsverbesserung nach einem Beidhandkoordinationstraining vorhersagen können.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert.

#### *4.1.1 Bimanuelle Koordination in der Ausgangsuntersuchung*

Die Bildung von Untersuchungsgruppen mit einem Altersabstand von 2 Jahren, wie sie hier vorgenommen worden war, hat sich als sinnvoll erwiesen: In der Ausgangsuntersuchung der Beidhandkoordinationsleistung sind für beide Masse, Zeit und Wegfehler, erwartungsgemäss überwiegend signifikante bis hoch signifikante Altersgruppenunterschiede gefunden worden (vgl. Kap. 3.5.2). Am deutlichsten unterscheiden sich die älteren von den jüngeren Kindern in ihrer Fähigkeit, beide Hände gleichzeitig in spiegelbildlicher Weise zu bewegen. Zwischen den Kindern jeden Alters traten die schon bekannten hohen Leistungsstreuungen auf. Die spiegelbildlichen synchronen Bewegungen in Aussenrotation wurden von allen Kindern mit den geringsten Abweichungen vom idealen Weg ausgeführt (vgl. Abb. 3.2). Dies stimmt mit Ergebnissen früherer Studien überein, die gezeigt haben, dass spiegelbildliche Koordinationsbewegungen aufgrund homologer Kopplungen mindestens bis zum Alter von 10 Jahren vorherrschen (z. B. Fagard et al., 1985; Fagard, 1987; Todor & Lazarus, 1986; Höfler-Weber, 1996; Kringler, 1997; Locher, 1998).

#### 4.1.2 Auswirkungen des Trainings auf die Koordinationsleistung

Die Annahme, dass die Beidhandkoordinationsfähigkeit von 5-8jährigen Kindern durch ein Training mit geeigneten Aufgaben verbessert werden kann, wird klar bestätigt. Nur acht Übungseinheiten in vier Sitzungen (ohne Prä- und Posttest) mit den hier verwendeten computergestützten Aufgaben haben genügt, um statistisch bedeutsame Trainingserfolge nachzuweisen. Die Persistenz der Trainingseffekte zeigt sich daran, dass die Kinder ihren Leistungserfolg noch 4 Wochen später in einer Nachuntersuchung überwiegend aufrechterhalten konnten. Mit Ausnahme der spiegelbildlichen synchronen Bewegungen bei den 7-8jährigen fielen die Trainingseffekte durchgehend hoch signifikant ( $p < 0.001$ ) aus. Auch die jüngsten Kinder mit 5 und 6 Jahren zeigten Verbesserungen in diesem Ausmass in den als besonders schwierig eingestuften Aufgaben, in denen beide Hände gleichzeitig mit unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegt werden mussten. Das Ausmass der Verbesserung variierte allgemein, wie erwartet zwischen den Kindern in beiden Altersgruppen stark; stärker jedoch mit teils sehr hohen Leistungsunterschieden zwischen beiden Testzeitpunkten bei den 5-6jährigen Kindern. Die Grösse des Trainingserfolges war abhängig von der Bewegungsbedingung (vgl. Abb. 3.6-11).

Der Trainingserfolg war also bei den jüngeren Kindern insgesamt grösser als bei den älteren. Überwiegend ist dieser Effekt auf die Rotationsbedingung zurückzuführen, in der beide Hände gleichzeitig in spiegelbildlicher Weise bewegt werden. Er wird dadurch erklärt, dass die 7-8jährigen Kinder hier in Bezug auf die Qualität der Koordinationsbewegung a priori schon ein hohes Leistungsniveau aufwiesen. Eine fein aufeinander abgestimmte Gleichzeitigkeit der spiegelbildlichen Koordinationsbewegung wird in diesem Alter offenbar schon erreicht. Die Annahme, dass die älteren Kinder in den als schwieriger eingestuften Bewegungsbedingungen mehr Leistungssteigerung zeigen würden als die jüngeren, hat sich nur teilweise bestätigt. Auch die 5-6jährigen zeigten erstaunliche Fähigkeiten in der Überwindung noch vorherrschender Bewegungsmuster. Es zeigte sich aber, dass die jüngeren Kinder parallele Rotationsbewegungen, die eine koordinierte Aktivität nicht-homologer Muskelgruppen voraussetzen, durch Üben zwar deutlich verbessern, dass sie jedoch ihren Leistungserfolg vier Wochen später nicht aufrecht erhalten konnten (vgl. Abb. 3.13). Dieser Effekt weist erneut auf die noch stark vorherrschende Tendenz zur spiegelbildlichen Bewegung in diesem Alter hin. Die 7-8jährigen Kinder konnten im Gegensatz dazu ihr Leistungsniveau halten.

Ungeachtet der allgemein grösseren Leistungsverbesserung bei den jüngeren Kindern hat sich die Altersabhängigkeit der Koordinationsleistung im Posttest gegenüber dem Prätest tendenziell verstärkt. In den einhändigen Rotationsbedingungen stieg der Zusammenhang zwischen Alter und Durchführungszeiten systematisch an (vgl. Tab 3.4). In den bimanuellen Rotationsbedingungen blieb der Altersabstand zwischen beiden Gruppen in der Leistung über alle Sitzungen hinweg bestehen, und die Regressionsanalyse hat den Faktor Alter erst im Posttest als gewichtig genug identifiziert, die Beidhandkoordinationsleistung eines Kindes vorherzusagen. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass im Prätest andere Faktoren wirksam sind, die nicht primär die Beidhandkoordinationsfähigkeit widerspiegeln, sondern in erster Linie der Bewältigung einer neuen komplexen Aufgabe dienen. Dafür sprechen die weiteren Ergebnisse der Regressionsanalyse, die gezeigt haben, dass Kontrollprozesse wie die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit auf zwei Reizquellen zu verteilen, nur im Anfangsstadium des Lernprozesses einen Vorhersagewert für die Beidhandkoordinationsleistung besitzen.

Fitts & Posner (1967, zit. nach Preilowski, 1972, S. 274) erklären dies mit den normalen Phasen im Erwerb einer motorischen Fertigkeit: „Early performance is dominated by cognitive factors and heavy dependence on external, visual feedback. The latter then gradually gives way to internal or proprioceptive control.“

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass eine komplexe motorische Fähigkeit wie die bimanuelle Koordination bei gesunden 5-8-jährigen Kindern soweit trainierbar ist, dass die jüngeren Kinder die Anfangsleistungen der durchschnittlich 2 Jahre älteren Kinder nach einem relativ kurzen Training deutlich übertreffen, und dass sich die Leistungsstreuungen zwischen den Kindern in beiden Altersstufen verringern. Von dem Training haben alle Kinder wie angenommen profitiert, auch in ähnlichen, nicht geübten Koordinationsaufgaben in Bezug auf die Schnelligkeit, mit der die Bewegungen ausgeführt werden konnten. Dieser anhaltende und auf neue Aufgaben generalisierende Übungseffekt für schnellere bzw. flüssigere Koordinationsbewegungen wird von Preilowski (1972) mit einer Art „feedforward“-Kontrolle während einer bilateralen motorischen Aktivität erklärt, die über die direkte interhemisphärische Verbindung des Corpus callosum die jeweils intrahemisphärische Interaktion mit untergeordneten motorischen Zentren beeinflusst.

In Bezug auf die Qualität der Beidhandkoordinationsleistung fehlen aber Transfer-effekte. Beide Altersgruppen kamen im Vergleich zwischen Prä- und Postmessung in den Transferaufgaben nicht über den Fortschritt von der ersten zur zweiten Messung in den trainierten Bewegungsbedingungen hinaus. Ein solcher Fortschritt würde sich in mehr phasengleicher Rotation beider Hände in synchronen Bewegungen, in weniger Rotationswechseln bei gleichzeitiger Aktivität nicht-homologer Muskelgruppen oder in einer grösseren Fähigkeit, beide Hände gleichzeitig in unterschiedlicher Geschwindigkeit zu bewegen, niederschlagen. Möglicherweise reichen aber die wenigen hier durchgeführten Übungssitzungen nicht aus, die qualitative Veränderung der motorischen Leistung auch in der Abweichung vom idealen Weg abzubilden. In einer neuen Aufgabe müssen Bewegungsrichtungen und andere Geschwindigkeitsverhältnisse zwischen den Händen erst wieder erfahren werden. Der hier erhobene spezifische Trainingseffekt, der sich in den Durchführungszeiten niedergeschlagen hat, widerspiegelt den Fortschritt im Sinne einer flüssigeren Koordinationsbewegung auch in neuen Aufgaben dagegen unmittelbar.

#### *4.1.3 Bimanuelles Koordinationstraining und Generalisierungseffekte*

Spätestens an dieser Stelle ist zu fragen, ob es sich bei dem hier erfassten Trainingserfolg ausschliesslich um einen begrenzten Lerneffekt in der bimanuellen Koordination handelt oder ob sich ein trainingsbedingter Transfer auf andere Leistungsbereiche feststellen lässt. Folgende Ergebnisse dieser Untersuchung sprechen für die Annahme, dass mehr gelernt wurde als eine bessere Ausführung der gestellten Aufgaben:

Vergleichbare, aber nicht geübte beidhändige Koordinationsaufgaben, die sich in der Bewegungsrichtung der Hände – Innenrotation versus Aussenrotation, parallel gegen den Uhrzeigersinn versus parallel im Uhrzeigersinn – und im Geschwindigkeitsverhält-

nis der Hände zueinander – linke Hand schneller versus rechte Hand schneller – unterscheiden, konnten nach dem Training ohne qualitative Einbussen deutlich schneller beziehungsweise flüssiger ausgeführt werden. Erstaunlicherweise liess sich nach einer trainingsfreien Zeit von 4 Wochen bei den jüngeren Kindern eine weitere Leistungssteigerung in den einhändigen Rotationsbedingungen messen, die das Signifikanzniveau nur knapp verfehlte ( $p < 0.1$ ). Diese nochmalige Leistungssteigerung vom Posttest zum Follow-up-Test betraf in besonders augenfälliger Masse die Inhibitionsfähigkeit der kontralateralen Mitbewegungen, die durch Festhalten der Kurbel mit der nicht-aktiven Hand als Wegfehler gemessen wurden (vgl. Abb. 3.12). Dieser Effekt wird noch eindrucksvoll untermauert durch die Ergebnisse aus den Neuromotorik-Prüfungen vor und nach dem Koordinationstraining: Als Ausdruck einer qualitativen Veränderung der neuromotorischen Fähigkeiten im Sinne eines generalisierenden Effektes des Beidhandkoordinationstrainings kann dort die überwiegend sehr signifikante Reduktion der kontralateralen Mitbewegungen nach dem Training in beiden Altersgruppen angesehen werden. Fehlende Testwiederholungseffekte in der Kontrollgruppe für die Mitbewegungen im „Zürcher Neuromotorik-Test“ einerseits und die Ergebnisse der Regressionsanalyse andererseits unterstützen diesen Erklärungsansatz. Neben Alter und Fähigkeit zur Aufmerksamkeitsteilung hatten die basalen sensomotorischen Fähigkeiten den höchsten Vorhersagewert für die bimanuelle Koordinationsleistung bei 5-8jährigen Kindern.

In ihrer Untersuchung zur Rolle der Aufmerksamkeit bei der Regulation von assoziierten Bewegungen haben Todor und Lazarus (1991) gezeigt, dass Aufmerksamkeitsprozesse Kinder befähigen, unwillkürliche Bewegungen willentlich zu hemmen. Der statistisch sehr bedeutsame Zusammenhang zwischen der Koordinationsleistung aller Kinder in meiner Ausgangsuntersuchung und ihrer Fähigkeit zur Teilung der Aufmerksamkeit legt in Übereinstimmung mit den Befunden von Todor und Lazarus folgenden Schluss nahe: Die Kinder haben durch das Training der bimanuellen Bewegungen beiläufig gelernt, auf einer niedrigeren Ebene funktionierende Hemmmechanismen durch geeignete Aufmerksamkeitsstrategien zu integrieren und assoziierte Bewegungen der jeweils kontralateralen Seite erfolgreicher zu hemmen, was zu insgesamt flüssigeren Bewegungen geführt hat.

## 4.2 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Grundlagenforschung über motorische Entwicklung, der auch Konsequenzen für die Praxis hat. Einerseits betrifft dies die Frage nach Möglichkeiten der Entwicklung eines Beidhandkoordinations-Tests und andererseits nach Möglichkeiten der Behandlung von Kindern mit motorischen Entwicklungsstörungen. Hierauf wird im folgenden kurz eingegangen.

Die hier verwendeten Aufgaben können Alterseffekte in der Beidhandkoordinationsfähigkeit abbilden. Sie eignen sich daher zur Erhebung des Entwicklungsstandes in dieser sensomotorischen Fähigkeit. Die Komplexität dieser Leistung stellt aber ein Problem für die Normierung eines Beidhandkoordinationstestes dar: Es hat sich gezeigt, dass die Altersabhängigkeit der Leistung nach einer gewissen Übung deutlicher messbar

war als im ersten Test. Dies hängt mit zusätzlichen Faktoren zusammen, die die Anfangsleistung der Kinder in ihrer Beidhandkoordinationsfähigkeit überdecken. Ich habe belegt, dass die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit ein gewichtiger Faktor ist. Der fehlende Nachweis eines bedeutsamen Leistungszusammenhanges zwischen Prä- und Postuntersuchung für die Qualität der Beidhandkoordination in den asynchronen und parallelen Rotationsbedingungen (vgl. Tab. 3.5) könnte dahingehend interpretiert werden, dass die Aufgaben erst dann zuverlässig messen, wenn das Kind genügend mit ihnen vertraut ist. Diese Frage muss in weiterführenden Untersuchungen geklärt werden. Trotzdem eignen sich die Aufgaben aufgrund ihrer komplexen Anforderungen besonders gut, Beidhandkoordination zu trainieren.<sup>5</sup>

Um den therapeutischen Nutzen eines Beidhandkoordinationstrainings für Kinder mit motorischen Entwicklungsauffälligkeiten zu erfassen, müssen Kinder mit „neurologic soft signs“ untersucht und trainiert werden. Diese Kinder zeigen als wesentliche Merkmale ihrer motorischen Entwicklungsstörung noch vermehrt auftretende Mitbewegungen und Schwierigkeiten bei Koordinationsbewegungen. Im Hinblick auf einen therapeutischen Nutzen eines Beidhandkoordinationstrainings sehe ich die hier gewonnenen Ergebnisse als ermutigend an, weil sie die Erlernbarkeit einer bimanuellen Koordinationsleistung auf „reiferem Niveau“ in einem Alter belegt haben, in dem sie noch in Entwicklung begriffen ist. Die verwendeten Aufgaben sind geeignet, aufgrund des Entwicklungsalters noch vorherrschende Bewegungstendenzen durch Erlernen neuer bimanueller Fähigkeiten zu hemmen und damit die Voraussetzung zu schaffen, qualitativ differenziertere Koordinationsmuster zu etablieren. Die bessere Kontrolle beziehungsweise Hemmung altersentsprechender Mitbewegungen, die bei den Kindern in dieser Studie als Trainingseffekt aufgetreten ist, scheint hierbei Ausdruck einer qualitativen Veränderung in der Überwindung unreifer neuromotorischer Synergien (Bernstein, 1967; Preilowski, 1975) hin zu differenzierteren Bewegungen zu sein. Das Alter zwischen 5 und 8 Jahren scheint für ein Beidhandkoordinationstraining dieser Komplexität besonders geeignet, weil die hohe Leistungsvariabilität in dieser Altersspanne Veränderungen begünstigt. Dies in Übereinstimmung mit der Beobachtung von Vereijken & Thelen (1996), dass ein Lauftraining bei den Babys grösseren Erfolg hatte, die ein instabileres Schrittmuster zeigten.

Zur Klärung der Frage, welche Faktoren diese Entwicklung befördern oder ermöglichen, halte ich die weitere Erforschung der Rolle von Aufmerksamkeitsstrategien für vielversprechend. Eine durchgehend häufige Beobachtung in der vorliegenden und einer früheren Untersuchung (Höfler-Weber, 1996) ist der Versuch der Kinder, ihre motorische Aktivität durch visuelle Kontrolle und innere Vorstellung des Bewegungsablaufes

---

<sup>5</sup> Zur Erhöhung der Durchführungsobjektivität könnte die Standardisierung der Untersuchungsbedingungen optimiert werden, indem die computergesteuerten Testvorgaben den Fehlerarten der Kinder besser angepasst werden. Die Fehlerarten im BMC-Test wurden in der Arbeit von Höfler-Weber (1996) für Kinder ausführlich untersucht. Denkbar wäre z. B. eine deutlich breitere Bahn, die in mehrere parallel verlaufende Bahnen unterteilt ist, angelehnt an die Testvorgaben für den Subtest „Eye-Hand Coordination“ aus dem Papier-Bleistift-Test „Developmental Test of Visual Perception (DTVP-2)“ (Hammill et al., 1993). Die mittlere Bahn, in der die Pixelspur optimalerweise verlaufen soll, könnte farblich anders gestaltet sein. Auf diese Weise hätte der Proband während der Aufgabendurchführung zu jeder Zeit eine klare Orientierung darüber, ob er sich in der richtigen Bewegungsrichtung bewegt, auch wenn seine Spur nicht mehr in der mittleren Bahn verläuft.

in Bezug auf wichtige Elemente der Bewegung – Bewegungsrichtung und zeitliches Verhältnis in der Bewegungsgeschwindigkeit der Hände zueinander – vor Beginn der Bewegung und während ihres Ablaufes zu antizipieren und dadurch besser zu steuern. Die hier verwendeten Aufgaben haben diesen Vorgang durch die kontinuierliche visuelle Rückmeldung, die die Kinder über ihre Leistung erhalten haben, unterstützt.

Insgesamt habe ich mit dieser Untersuchung gezeigt, dass die Beidhandkoordination, eine komplexe sensomotorische Fähigkeit, durch geeignete Aufgabenstellungen bei 5-8jährigen Kindern trainierbar ist, und die Entwicklung damit gefördert werden kann. Einflussfaktoren dieser Entwicklung sind das Alter der Kinder, ihre Fähigkeit zur Verteilung der Aufmerksamkeit auf zwei Reizquellen und neuromotorische Basisfertigkeiten.

## 5 Zusammenfassung

Unterschiede in der bimanuellen Koordinationsfähigkeit zwischen Kindern während der Entwicklung werden oft auf Unterschiede im Reifegrad des sensomotorischen Systems zurückgeführt. Sie äussern sich zum Beispiel als fortdauernde unwillkürliche kontralaterale Mitaktivierung während einhändiger Bewegungen (Bewegungskopplung). Die vorliegende Studie untersuchte den Einfluss eines Trainings auf die Beidhandkoordination in zwei Altersgruppen bei 5-8jährigen Kindern (n=34). Das Training wurde ein bis zweimal wöchentlich während vier Wochen mit dem Beidhandkoordinationstest (BMC) durchgeführt. Der Test erfordert kontinuierliche Drehbewegungen mit beiden Händen. Verschiedene Kombinationen von parallelen, symmetrischen sowie asynchronen Bewegungen (unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeit der Hände) wurden trainiert.

Die neuromotorische Reife der Kinder mit grundlegenden motorischen Funktionen der rechten und linken Hand wurde erhoben, zusätzlich wurde ein Test für geteilte Aufmerksamkeit angewendet.

Im Vergleich mit einer Wartegruppe verbesserten sich alle Versuchsteilnehmer im BMC-Test signifikant und konnten ihr Leistungsniveau 4 Wochen später in einer Nachuntersuchung halten. Es gab zudem einen positiven Transfer von geübten auf ähnliche, nicht geübte Aufgaben. Die jüngeren Kinder zeigten allgemein grössere Übungserfolge als die älteren. Besonders deutlich war eine Abnahme der Leistungsvariabilität und der assoziierten Bewegungen der kontralateralen Hand.

Eine Regressionsanalyse zeigte, dass die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit den höchsten Vorhersagewert für die BMC-Leistung vor dem Training besass. Andere Prädiktoren waren der Grad assoziierter Bewegungen und die Geschicklichkeit der rechten und linken Hand. Nach dem Training hatten das Alter der Kinder sowie wiederum basale neuromotorische Fertigkeiten den höchsten Vorhersagewert.

Differences in bimanual coordination skills among children during development are often explained in terms of differences in maturation of the sensorimotor system, as indicated, for example, by the persistence of involuntary contralateral co-activation during uni-manual movements (interlimb coupling). The present study attempted to investigate the influence of training on bimanual coordination in two groups of 5 to 8-year old children (n=34). The training involved four weekly sessions using the Bimanual Coordination Test (BMC), which requires continuous rotatory movements with both hands. Several combinations of parallel versus symmetric movements as well as equal versus unequal left-to-right inputs were trained.

The status of neuromotor maturation of these children and measures of basic right and left hand motor functions were obtained. The children also performed a test of divided attention.

In comparison with a waiting group, all participants increased their performance on the BMC-Test significantly and in a 4-week follow-up held that level of performance. Also there was a positive transfer to BMC-tasks which had not been used during

training. The younger children showed greater improvements than the older ones. Most prominent were a reduction in the variability of performance and in associated movements of the contralateral limb.

A regression analysis indicated that divided attention performance had the highest predictive value for BMC-performance before training. Other predictors were level of associated movements and level of right- as well as left-hand skill. After training the age of the children as well as basic sensorimotor skills had highest predictive values.

## 6 Literatur

- Annett, M. (1970). The growth of manual preference and speed. *British Journal of Psychology*, *61*, 545-558.
- Annett, M., Hudson, P. T. W. & Turner, A. (1974). The reliability of differences between the hands in motor skill. *Neuropsychologia*, *12*, 527-531.
- Annett, M. (1985). *Left, right, hand and brain: the right shift theory*. London: Lawrence Erlbaum Associates Ltd., Publishers.
- Bernstein, N. (1967). *The coordination and regulation of movements*. London: Pergamon Press.
- Bondy, C., Cohen, R., Eggert, D. & Lürer, G. (1992). *Testbatterie für geistig behinderte Kinder (TBGB)*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002, 3. überarb. Aufl.). *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Breslau, N., Chilcoat, H. D., Johnson, E. O., Andreski, P. & Lucia, V. C. (2000). Neurologic soft signs and low birthweight: Their association and neuropsychiatric implications. *Biological Psychiatry*, *47*, 71-79.
- Brodeur, D. A. (1990). Covert orienting in young children. In G. E. Stelmach & P. A. Vroom (Eds.) *Advances in Psychology*, *69*, (pp. 211-226). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Cardoso de Oliveira, S. (2002). The neural basis of bimanual coordination: recent neurophysiological evidence and functional models. *Acta Psychologica*, *110*, 139-159.
- Cohen, H. J. S., Taft, L. T., Mahadeviah, M. S. & Birch, H. G. (1967). Developmental changes in overflow in normal and aberrantly functioning children. *Journal of Pediatrics*, *711*, 39-47.
- Cohen, L. (1971). Synchronous bimanual movements performed by homologous and non-homologous muscles. *Perceptual and Motor Skills*, *32*, 639-644.
- Conolly, K. & Stratton, P. (1968). Developmental changes in associated movements. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *10*, 49-56.
- Corbetta, D. & Thelen, E. (1994). Shifting patterns of interlimb coordination in infant's reaching: a case study. In: S. P. Swinnen, H. Heuer, J. Massion & P. Casaer (Eds.) *Interlimb coordination: Neural, dynamical, and cognitive constraints* (pp. 595-616). San Diego: Academic Press.
- Denckla, M. B. & Roeltgen, D. P. (1992). Disorders of motor function and control. In J. Rapin, S. J. Segalowitz, F. Boller & J. Grafman (Series Eds.) *Handbook of Neuropsychology*, *6* (pp. 455-476). Elsevier Science Publishers.
- Eggert, D. (1972). Die Columbia Mental Maturity Scale als Individualtest für normalentwickelte Kinder im Alter von 3-10 Jahren. In D. Eggert (Hrsg.) *Diagnose der Minderbegabung*. Weinheim: Beltz Verlag.

- Fagard, J. (1987). Bimanual stereotypes: bimanual coordination in children as a function of movements and relative velocity. *Journal of Motor Behavior*, 3, 355-366.
- Fagard, J. (1991). Synchronization and desynchronization in bimanual coordination: a developmental perspective. In J. Fagard & P. H. Wolff (Eds.) *The Development of Timing and Temporal Organization in coordinated Action* (pp. 305-322). Elsevier Science Publishers.
- Fagard, J. (1994). Manual strategies and interlimb coordination during reaching, grasping and manipulating throughout the first year of life. In: S. P. Swinnen, H. Heuer, J. Massion & P. Casaer (Eds.) *Interlimb coordination: Neural, dynamical, and cognitive constraints* (pp. 439-460). San Diego: Academic Press.
- Fagard, J., Morioka, M. & Wolff, P. H. (1985). Early stages in the acquisition of a bimanual motor skill. *Neuropsychologia*, 23, 535-543.
- Fagard, J. & Peze, A. (1992). Coupling and lateralization in bimanual coordination at 7, 8, and 9 Years of Age. *Developmental Neuropsychology*, 8, 69-85.
- Fagard, J., Hardy-Léger, I., Kervella, C. & Marks A. (2001). Changes in interhemispheric transfer rate and the development of bimanual coordination during childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 1-22.
- Fawcett A. J. & Nicolson, R. I. (1995). Persistent deficits in motor skill of children with dyslexia. *Journal of Motor Behavior*, 27 (3), 235-240.
- Fitzpatrick, P., Schmidt, R. C. & Lockman, J. J. (1996). Dynamical patterns in the development of clapping. *Child Development*, 67, 2691-2708.
- Fleishman, E. A. (1954). Dimensional analysis of psychomotor abilities. *Journal of Experimental Psychology*, 48, 437-454.
- Fleishman, E. A. & Rich, S. (1963). Role of kinesthetic and spatial-visual abilities in perceptual motor learning. *Journal of Experimental Psychology*, 66, 6-11.
- Fontaine, R. J., Lee, T. D. & Swinnen, S. P. (1997). Learning a new bimanual coordination pattern: reciprocal influences of intrinsic and to-be-learned patterns. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 51 (1), 1-9.
- Frohlich, D. M. (1988). The acquisition of bimanual coordination in an interactive graphics task. In A. M. Colley and J. R. Beech (Eds.) *Cognition and Action in Skilled Behaviour* (pp. 103-126). Elsevier Science Publishers.
- Gaál, L. (1994). *Benutzerhandbuch zum Therapieprogramm Neurop*. Aiterhofen: Samco.
- Gerloff, C. & Andres, F. G. (2002). Bimanual coordination and interhemispheric interaction. *Acta Psychologica*, 110, 161-186.
- Gladstone, M., Best, C. T. & Davidson, R. J. (1989). Anomalous bimanual coordination among dyslexic boys. *Developmental Psychology*, 25, 236-246.
- Goldenberg, G. (1985). Supplementary motor area structure and function: review and hypotheses. *The Behavioral and Brain Sciences*, 8, 567-616.
- Hammill, D. D., Pearson, N. A. & Voress, J. K. (1993). *Developmental Test of Visual Perception (DTVP-2)*. Austin: pro.ed.
- Hart, S. (1993). Unveröffentlichtes Manuskript.

- Helmstaedter, C. A. (1991). *Die Koordination bilateraler Bewegungen. Interferenzen bei gleichzeitigen Zielbewegungen mit unterschiedlicher Amplitude*. Inauguraldissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- Heuer, H. (1986). Intermanual interactions during programming of finger movements: transient effects of ‚homologues coupling‘. In H. Heuer & C. Fromm (Eds.) *Generation and modulation of action patterns* (pp. 87-101). Berlin: Springer.
- Heuer, H. (1994). Koordination. In N. Birbaumer, C. F. Graumann, M. Irle, J. Kuhl, W. Prinz & F. E. Weinert (Hrsgs.) *Enzyklopädie der Psychologie, Serie II Kognition, 3* (S. 147-222). Göttingen: Hogrefe.
- Höfler-Weber, E. (1996). *Beidhandkoordination bei Kindern im Vorschulalter*. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Tübingen: Psychologisches Institut der Eberhard-Karls-Universität.
- Hug, F. (1995). *Neuromotorische Entwicklung 5-14 Jahre, I. Untere Extremitäten (Querschnittstudie)*. Unveröffentlichte Dissertation. Zürich: Medizinische Fakultät der Universität Zürich.
- Irwin-Chase, H. & Burns, B. (2000). Developmental changes in children's abilities to share and allocate attention in a dual task. *Journal of Experimental Child Psychology, 77*, 61-85.
- Jeeves, M. A., Silver, P. H. & Jacobson, I. (1988a). Bimanual co-ordination in callosal agenesis and partial commissurotomy. *Neuropsychologia, 26*, 833-850.
- Jeeves, M. A., Silver, P. H. & Milne, A. B. (1988b). Role of the corpus callosum in development of a bimanual motor skill. *Developmental Neuropsychology, 4* (4), 305-323.
- Kaye, D. B., Ruskin, E. M. (1990). The development of attentional control mechanisms. In G. E. Stelmach & P. A. Vroom (Eds.) *Advances in Psychology, 69*, (pp. 227-244). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Kebeck, G. & Lohaus, A. (1985). Versuchsleiterverhalten und Versuchsergebnis. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 32*, 75-89.
- Kelso, J. A. S., Southard, D. L. & Goodman, D. (1979). On the coordination of two-handed movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 5*, 229-238.
- Kelso, J. A. S., Putnam, C. A. & Goodman, D. (1983). On the spacetime structure of human interlimb coordination. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 35 A*, 347-375.
- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns*. Cambridge: The MIT Press.
- Kinsbourne, M. & Hicks, R. E. (1978). Functional cerebral space: a model for overflow, transfer and interference effects in human performance: a tutorial review. In J. Requin (Ed.) *Attention and Performance VII* (pp 345-362). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Publishers.
- Kringler, W. (1997). *Experimentelle Untersuchungen zur Beidhandkoordination*. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Tübingen: Psychologisches Institut der Eberhard-Karls-Universität.

- Largo, R. H., Caflisch, J. A., Hug F., Muggli, K., Molnar, A. A., Molinari, L., Sheehy, A., Gasser, T. (2001a). Neuromotor development from 5 to 18 years. Part 1: Timed performance. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 43, 436-43.
- Largo, R. H., Caflisch, J. A., Hug, F., Muggli, K., Molnar, A. A., Molinari, L. (2001b). Neuromotor development from 5 to 18 years. Part 2: Associated movements. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 43, 444-53.
- Lazarus, J. A. & Todor, J. I. (1987). Age differences in the magnitude of associated movement. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 29, 726-733.
- Lazarus, J. A. & Todor, J. I. (1991). The role of attention in the regulation of associated movement in children. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 33 (1), 33-39.
- Locher, A. (1998). *Experimentelle Untersuchungen zur Beidhandkoordination bei Schulkindern*. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Tübingen: Psychologisches Institut der Eberhard-Karls-Universität.
- MacKay, D. G. & Soderberg, G. A. (1971). Homologous intrusions: An analogue of linguistic blends. *Perceptual and Motor Skills*, 32, 645-646.
- Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L. & Baba, D. M. (1984). Bimanual movement control: Information processing and interaction effects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36 A/2, 335-365.
- McLeod, P. (1977). A dual task response modality effect: Support for multiprocessor models of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 651-667.
- Meyer, U. (1999). *Zürcher Neuromotorik. Scoring von Mitbewegungen Teil 1*. Unveröffentlichte Dissertation. Zürich: Medizinische Fakultät der Universität Zürich.
- Michaelis, R. & Niemann, G. W. (1999). *Entwicklungsneurologie und Neuropädiatrie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Moore, L. H., Brown, W. S., Markee, T. E., Theberge, D. C. & Zvi, J. C. (1995). Bimanual coordination in dyslexic adults. *Neuropsychologia*, 33, 781-793.
- Müller, M. (1999). *Zürcher Neuromotorik. Scoring von Mitbewegungen Teil 2*. Unveröffentlichte Dissertation. Zürich: Medizinische Fakultät der Universität Zürich.
- Muggli, K. (1997). *Neuromotorische Entwicklung 5-14 Jahre, II. Obere Extremitäten (Querschnittstudie)*. Unveröffentlichte Dissertation. Zürich: Medizinische Fakultät der Universität Zürich.
- Peters, M. (1994). Does Handedness play a role in the coordination of bimanual movement? In S. P. Swinnen, H. Heuer, J. Massion & P. Casaer (Eds.) *Interlimb coordination: Neural, dynamical, and cognitive constraints* (pp. 595-616). San Diego: Academic Press.
- Preilowski, B. (1972). Possible contribution of the anterior forebrain commissures to bilateral motor coordination. *Neuropsychologia*, 18, 267-277.
- Preilowski, B. (1975). Bilateral motor interaction: Perceptual motor performance of partial and complete „split brain“ patients. In K. J. Zulch, O. Creutzfeldt & G. C. Galbraith (Eds.) *Cerebral localization* (pp. 115-132). Berlin: Springer.

- Preilowski, B. (1987). The role of corollary discharges, the corpus callosum, and the supplementary cortices in bimanual coordination. *The Behavioral and Brain Sciences*, *10*, 322-323.
- Robertson, S. D. (2001). Development of bimanual skill: The search for stable patterns of coordination. *Journal of Motor Behavior*, *33* (2), 114-126.
- Rousselle, C. & Wolff, P. (1991). The dynamics of bimanual coordination in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, *29* (9), 907-924.
- Ruff, H. A. & Rothbart, M. K. (1996). *Attention in early development*. New York: Oxford University Press.
- Schuck, K.-D., Eggert, D. & Raatz, U. (1994). *Columbia Mental Maturity Scale (CMM 1-3)*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Southard, D. (1985). Interlimb movement control and coordination. In J. E. Clark & J. H. Humphrey (Eds.) *Children motor development* (vol. 1, pp. 55-66). Princeton, NJ: Princeton Book Company.
- Steese-Seda, D., Brown, W. S. & Caetano, C. (1995). Development of visuomotor coordination in school-age children: The Bimanual Coordination Test. *Developmental Neuropsychology*, *11* (2), 181-199.
- Swinnen, S. P. & Walter, C. B. (1988). Constraints in coordinating limb movements. In A. M. Colley and J. R. Beech (Eds.) *Cognition and Action in Skilled Behaviour* (pp. 127-143). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Thelen, E. (1995). Motor development: A new synthesis. *American Psychologist*, *50* (2), 79-95.
- Todor, J. I. & Lazarus, J. C. (1986). Inhibitory Influences on the Emergence of Motor Competence in Childhood. In L. D. Zaichkowsky, & C. Z. Fuchs (Eds.) *The Psychology of Motor Behavior: Development, Control, Learning and Performance* (pp. 239-258). Woodstock: Mouvement Publications.
- Vereijken, B. & Thelen, E. (1996). Training infant treadmill stepping: The role of individual pattern stability. *Developmental Psychobiology*, *30*, 89-102.
- Vitiello, B., Ricciuti, A. J., Stoff, D. M., Behar, D. & Denckla, M. B. (1989). Reliability of subtle (soft) neurological signs in children. *Journal of American Academy of Adolescent Psychiatry*, *28*, 749-53.
- Waber, D. P., Weiler, M. D., Bellinger, D. C., Marcus, D. J., Forbes, P. W., Wypij, D. & Wolff, H. P. (2000). Diminished motor timing control in children referred for diagnosis of learning problems. *Developmental Neuropsychology*, *17* (2), 181-197.
- Walter C. B. & Swinnen, S. P. (1994). The formation and dissolution of „bad habits“ during acquisition of coordination skills. In S. P. Swinnen, H. Heuer, J. Massion & P. Casaer (Eds.) *Interlimb coordination: Neural, dynamical, and cognitive constraints* (pp. 491-513). San Diego: Academic Press.
- Walter, C. B., Swinnen, S. P., Corcos, D. M., Pollatou, E. & Pan, H. (1997). Coping with systematic bias during bilateral movement. *Psychological Research*, *60*, 202-213.
- Wiesendanger, M., Wicki, U. & Rouiller, E. (1994). Are there unifying structures in the brain responsible for interlimb coordination? In: S. P. Swinnen, H. Heuer, J. Massion

- & P. Casaer (Eds.) *Interlimb coordination: Neural, dynamical, and cognitive constraints* (pp. 595-616). San Diego: Academic Press.
- Wolff, P. H., Gunnoe, C. E. & Cohen, C. (1983). Associated movements as a measure of developmental age. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 25, 417-429.
- Wolff, P. H., Ichel, G. F., Ovrut, M. & Drake, C. (1990). Rate and timing precision of motor coordination in developmental dyslexia. *Developmental Psychology*, 26, 349-359.
- Wolff, P. H., Kotwica, K. & Obregon, M. (1998). The development of interlimb coordination during bimanual finger tapping. *International Journal of Neuroscience*, 93 (1-2), 7-28.
- Wolff, P. H. (1999). A candidate phenotype for familial dyslexia. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 8: Suppl. 3, III/21-III/27.
- Zimmermann, P. & Fimm, B. (1993). *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)*. Würselen: Psytest.
- Yakovlev, P. I. & Lecours, A. R. (1967). The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain. In A. Minkowski (Ed.) *Regional development of the brain in early life* (pp. 3-70). Oxford: Blackwell.

## 7 Anhang

### 7.1 Tabellen

Tabelle 7.1

*Überblick über die Stichprobe und durchgeführten Tests*

| Alters-<br>gruppe                             | Vpn-Nr.  | Geschl. | Alter | Händigkeit | Beidhandkoordination |           | Neuromotorik |          | Aufmerk-<br>samkeit |   |
|---|--|---------|-------|------------|----------------------|-----------|--------------|----------|---------------------|---|
|   |  |         |       | Auspräg.   | Training             | Follow-up | Prätest      | Posttest |                     |   |
| 5-6jährige<br>n = 17<br>m: n = 11<br>w: n = 6 | 01   | w       | 5.17  | 4.18       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 02   | m       | 6.42  | 1.95       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 04   | m       | 5.83  | 1.31       | ✓                    |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 05   | w       | 5.08  | 3.22       | ✓ W                  | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 06   | w       | 6.42  | 4.24       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 07   | m       | 5,25  | 1.48       | ✓                    |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 08   | w       | 5.75  | 2.85       | ✓                    |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 09   | m       | 6.25  | 1.95       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 10   | m       | 6.08  | 2.69       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 11   | m       | 5.83  | 1.35       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 12   | m       | 6.42  | 2.40       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 13   | m       | 5.50  | 2.23       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 15   | w       | 5.92  | 2.33       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 16   | m       | 6.58  | 0.75       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 17   | m       | 5.50  | 0.13       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 18   | m       | 5.50  | 3.01       | ✓                    |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 19   | w       | 5.42  | 3.37       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
|   | 7 - 8jährige<br>n = 17<br>m: n = 8<br>w: n = 9 | 20      | m     | 7.33       | 1.64                 | ✓         | ✓            |          | ✓                   | ✓ |
|   |  | 21      | w     | 8.17       | 2.75                 | ✓         |              |          | ✓                   | ✓ |
| 22  |  | w       | 7.50  | 3.92       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
| 23  |  | m       | 7.25  | 0.81       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
| 24  |  | m       | 7.33  | 1.51       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
| 26  |  | w       | 7.33  | 0.42       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
| 27  |  | w       | 7.00  | 3.85       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
| 28  |  | m       | 7.92  | 0.60       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
| 29  |  | m       | 7.67  | 1.82       | ✓                    | ✓         |              | ✓        | ✓                   |   |
| 30  |  | w       | 7.50  | 2.34       | ✓                    |           |              | ✓        | ✓                   |   |
| 31  |  | m       | 7.67  | 0.92       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
| 32  |  | w       | 7.58  | 3.57       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
| 33  |  | w       | 7.92  | 1.29       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
| 34  |  | w       | 8.00  | -0.08      | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
| 35  |  | m       | 7.75  | 4.15       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
| 36  |  | w       | 8.08  | 1.66       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |
| 37  |  | m       | 8.17  | 1.22       | ✓ W                  |           |              | ✓        | ✓                   |   |

Anmerkungen: m = männlich; w = weiblich; W = Wartegruppe (Trainingsgruppe 2).

Tabelle 7.2

## Überblick über die Kontrollgruppe „Zürcher Neuromotorik-Test“

| Gruppe     | Vpn-Nr. | Geschl. | Alter | Neuromotorik-Test |                  |
|------------|---------|---------|-------|-------------------|------------------|
|            |         |         |       | Test              | Testwiederholung |
| 5-7jährige | 901     | m       | 5.92  | ✓                 | ✓                |
| n = 20     | 902     | w       | 6.08  | ✓                 | ✓                |
| m: n = 10  | 903     | w       | 6.25  | ✓                 | ✓                |
| w: n = 10  | 904     | m       | 5.83  | ✓                 | ✓                |
|            | 905     | w       | 5.17  | ✓                 | ✓                |
|            | 906     | w       | 6.17  | ✓                 | ✓                |
|            | 907     | m       | 5.75  | ✓                 | ✓                |
|            | 909     | m       | 6.17  | ✓                 | ✓                |
|            | 910     | m       | 5.33  | ✓                 | ✓                |
|            | 911     | m       | 5.25  | ✓                 | ✓                |
|            | 912     | w       | 5.92  | ✓                 | ✓                |
|            | 920     | w       | 6.42  | ✓                 | ✓                |
|            | 921     | m       | 7.58  | ✓                 | ✓                |
|            | 922     | w       | 7.00  | ✓                 | ✓                |
|            | 923     | m       | 6.42  | ✓                 | ✓                |
|            | 924     | m       | 6.83  | ✓                 | ✓                |
|            | 925     | w       | 6.17  | ✓                 | ✓                |
|            | 926     | w       | 7.00  | ✓                 | ✓                |
|            | 927     | m       | 7.33  | ✓                 | ✓                |
|            | 928     | w       | 7.50  | ✓                 | ✓                |

Anmerkungen: m = männlich; w = weiblich.

## 7.1.1 Tabellen zur Beidhandkoordination

Tabelle 7.3

### Trainingseffekte in den Einhandbedingungen im BMC-Test

| Messzeitpunkt                                      | Zeit (sek)    |               | Wegfehler (Pixel) |               |
|--|---------------|---------------|-------------------|---------------|
|  | 5-6jährige    | 7-8jährige    | 5-6jährige        | 7-8jährige    |
| t1 Prätest   | 12.2 (2.4)    | 9.4 (1.7)     | 1790 (1157)       | 620 (502)     |
| t6 Posttest  | 9.4 (1.8)     | 7.1 (0.8)     | 562 (342)         | 137 (146)     |
| Unterschiede zwischen Messzeitpunkten <sup>a</sup> | p = 0.000 *** | p = 0.000 *** | p = 0.002 **      | p = 0.000 *** |

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test: \*\* p < 0.01; \*\*\* p < 0.001

Anmerkung: Angegeben sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen (5-6jährige n=17; 7-8jährige n=16).

Tabelle 7.4

### Bimanuelle Koordinationsleistungen im BMC-Prätest

| Rotations bedingung | Altersgruppe | Zeit (sek) |           | Wegfehler (Pixel) |           |
|---------------------|--------------|------------|-----------|-------------------|-----------|
| B1                  | 5-6jährige   | 14.6 (4.3) | p < 0.001 | 3338 (2171)       | p < 0.001 |
|                     | 7-8jährige   | 9.8 (2.2)  |           | 810 (572)         |           |
| B2                  | 5-6jährige   | 15.9 (2.9) | p < 0.001 | 5122 (2086)       | p < 0.001 |
|                     | 7-8jährige   | 12.0 (1.8) |           | 2337 (1843)       |           |
| C1                  | 5-6jährige   | 13.9 (3.7) | p < 0.05  | 6355 (5022)       | ns        |
|                     | 7-8jährige   | 11.5 (2.6) |           | 3706 (2347)       |           |
| C2                  | 5-6jährige   | 15.9 (3.8) | p < 0.01  | 7943 (4797)       | p < 0.05  |
|                     | 7-8jährige   | 12.6 (2.7) |           | 4751 (2826)       |           |
| D1                  | 5-6jährige   | 25.1 (7.5) | p < 0.05  | 11955 (7364)      | p < 0.05  |
|                     | 7-8jährige   | 18.9 (4.6) |           | 6845 (4509)       |           |
| D2                  | 5-6jährige   | 25.8 (9.1) | p < 0.01  | 12176 (7840)      | p < 0.05  |
|                     | 7-8jährige   | 18.5 (5.4) |           | 5915 (4220)       |           |

Unterschiede zwischen den Altersgruppen geprüft mit dem Mann-Whitney-Test

Anmerkung: Angegeben sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen (5-6jährige n=17; 7-8jährige n=17).

Tabelle 7.5

## Vergleich zwischen Bedingungen im BMC-Prätest

| Rotations-<br>bedingung         | Zeit (sek)   | Wegfehler (Pixel) |
|---------------------------------|--------------|-------------------|
| B1                              | 12.2 (4.2)   | 2074 (2029)       |
| B2                              | 14.0 (3.1)   | 3729 (2411)       |
| Leistungsdifferenz <sup>a</sup> | p = 0.001 ** | p = 0.000 ***     |
| C1                              | 12.7 (3.4)   | 5031 (4138)       |
| C2                              | 14.3 (3.7)   | 6347 (4248)       |
| Leistungsdifferenz <sup>a</sup> | p = 0.003 ** | p = 0.003 **      |
| D1                              | 22.0 (6.9)   | 9400 (6619)       |
| D2                              | 22.1 (8.3)   | 9045 (7031)       |
| Leistungsdifferenz <sup>a</sup> | p = 0.734 ns | p = 0.467 ns      |

<sup>a</sup> Unterschiede zwischen Bedingungen im Wilcoxon-Test: \*\* p < 0.01; \*\*\* p < 0.001

Anmerkung: Dargestellt sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen über alle Versuchspersonen (n=34).

Tabelle 7.6

## Leistungsvergleich zwischen Prätest und Messzeitpunkt t2 in der Beidhandkoordination

| Rotations-<br>bedingung                               | Mess-<br>zeitpunkt | Zeit (sek)   |              | Wegfehler (Pixel) |              |
|---|--------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
|   |                    | 5-6jährige   | 7-8jährige   | 5-6jährige        | 7-8jährige   |
| B1  | t1 Prätest         | 14.6 (4.3)   | 9.8 (2.2)    | 3338 (2171)       | 810 (572)    |
|   | t2                 | 13.0 (2.5)   | 10.3 (1.9)   | 2220 (1663)       | 1054 (758)   |
| Unterschiede zwischen<br>Messzeitpunkten <sup>a</sup> |                    | p = 0.218 ns | p = 0.244 ns | p = 0.124 ns      | p = 0.381 ns |
| C1  | t1 Prätest         | 13.9 (3.7)   | 11.5 (2.6)   | 6355 (5022)       | 3706 (2347)  |
|   | t2                 | 13.4 (2.4)   | 11.3 (3.4)   | 3552 (1404)       | 2717 (2264)  |
| Unterschiede zwischen<br>Messzeitpunkten <sup>a</sup> |                    | p = 0.687 ns | p = 0.943 ns | p = 0.005 **      | p = 0.011 *  |
| D1  | t1 Prätest         | 25.1 (7.5)   | 18.9 (4.6)   | 11955 (7364)      | 6845 (4509)  |
|   | t2                 | 22.2 (6.2)   | 16.6 (4.0)   | 7607 (4425)       | 4356 (3044)  |
| Unterschiede zwischen<br>Messzeitpunkten <sup>a</sup> |                    | p = 0.031 *  | p = 0.019 *  | p = 0.002 **      | p = 0.007 ** |

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test: \* p < 0.05; \*\* p < 0.01

Anmerkung: Angegeben sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen (n=34).

Tabelle 7.7

*Beidhandkoordinationsleistungen im Verlauf des Trainings in den Durchführungszeiten*

| <i>Rotations-<br/>bedingung</i> | <i>Messzeitpunkt</i> | <i>5-6jährige</i> |          | <i>7-8jährige</i> |           |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|----------|-------------------|-----------|
| <i>B1</i>                       | <i>t1 Prätest</i>    | 14.6 (4.3)        | ns       | 9.8 (2.2)         | ns        |
|                                 | <i>t2</i>            | 13.0 (2.5)        | ns       | 10.3 (1.9)        | ns        |
|                                 | <i>t3</i>            | 11.8 (2.6)        | ns       | 9.1 (1.7)         | p < 0.01  |
|                                 | <i>t4</i>            | 11.0 (2.9)        | ns       | 8.3 (1.5)         | ns        |
|                                 | <i>t5</i>            | 10.4 (1.8)        | ns       | 7.7 (1.5)         | ns        |
|                                 | <i>t6 Posttest</i>   | 9.7 (1.8)         | ns       | 7.4 (1.0)         | ns        |
| <i>C1</i>                       | <i>t1 Prätest</i>    | 13.9 (3.7)        | ns       | 11.5 (2.6)        | ns        |
|                                 | <i>t2</i>            | 13.4 (2.4)        | p < 0.01 | 11.3 (3.4)        | p < 0.01  |
|                                 | <i>t3</i>            | 10.7 (3.5)        | ns       | 9.2 (2.3)         | p < 0.01  |
|                                 | <i>t4</i>            | 10.2 (3.0)        | ns       | 7.8 (1.5)         | ns        |
|                                 | <i>t5</i>            | 9.2 (2.3)         | ns       | 7.5 (1.6)         | ns        |
|                                 | <i>t6 Posttest</i>   | 8.9 (2.1)         | ns       | 7.1 (1.2)         | ns        |
| <i>D1</i>                       | <i>t1 Prätest</i>    | 25.1 (7.59)       | ns       | 18.9 (4.6)        | ns        |
|                                 | <i>t2</i>            | 22.2 (6.2)        | ns       | 16.6 (4.0)        | p < 0.001 |
|                                 | <i>t3</i>            | 18.6 (5.7)        | p < 0.01 | 13.5 (2.5)        | ns        |
|                                 | <i>t4</i>            | 16.1 (5.2)        | ns       | 10.6 (1.6)        | p < 0.01  |
|                                 | <i>t5</i>            | 14.6 (3.5)        | p < 0.01 | 10.3 (2.0)        | ns        |
|                                 | <i>t6 Posttest</i>   | 12.6 (3.1)        |          |                   |           |

Leistungsunterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten im Wilcoxon-Test mit Bonferroni-Korrektur  $\alpha = 0.01$

Anmerkung: Dargestellt sind Gruppenmittelwerte (Sekunden) mit Standardabweichungen.

Tabelle 7.8

*Beidhandkoordinationsleistungen im Verlauf des Trainings in den Wegfehlern*

| <i>Rotations-<br/>bedingung</i> | <i>Messzeitpunkt</i> | <i>5-6jährige</i> |          | <i>7-8jährige</i> |          |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| <i>B1</i>                       | <i>t1 Prätest</i>    | 3338 (2171)       |          | 810 (572)         |          |
|                                 | <i>t2</i>            | 2220 (1663)       | ns       | 1054 (758)        | ns       |
|                                 | <i>t3</i>            | 1920 (2037)       | ns       | 712 (603)         | ns       |
|                                 | <i>t4</i>            | 1449 (820)        | ns       | 589 (521)         | ns       |
|                                 | <i>t5</i>            | 793 (933)         | ns       | 537 (382)         | ns       |
|                                 | <i>t6 Posttest</i>   | 1250 (836)        | ns       | 511 (283)         | ns       |
| <i>C1</i>                       | <i>t1 Prätest</i>    | 6355 (5022)       |          | 3706 (2347)       |          |
|                                 | <i>t2</i>            | 3552 (1404)       | p < 0.01 | 2717 (2264)       | ns       |
|                                 | <i>t3</i>            | 2581 (1669)       | ns       | 1735 (1154)       | ns       |
|                                 | <i>t4</i>            | 2563 (2582)       | ns       | 1211 (945)        | ns       |
|                                 | <i>t5</i>            | 1998 (1851)       | ns       | 790 (509)         | ns       |
|                                 | <i>t6 Posttest</i>   | 1618 (1300)       | ns       | 1017 (1196)       | ns       |
| <i>D1</i>                       | <i>t1 Prätest</i>    | 11955 (7364)      |          | 6845 (4509)       |          |
|                                 | <i>t2</i>            | 7607 (4425)       | p < 0.01 | 4356 (3044)       | p < 0.01 |
|                                 | <i>t3</i>            | 4358 (3378)       | p < 0.01 | 2304 (1488)       | p < 0.01 |
|                                 | <i>t4</i>            | 3695 (2428)       | ns       | 2131 (1039)       | ns       |
|                                 | <i>t5</i>            | 2483 (1020)       | ns       | 1499 (889)        | ns       |
|                                 | <i>t6 Posttest</i>   | 2034 (746)        | ns       | 1639 (986)        | ns       |

Leistungsunterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten im Wilcoxon-Test mit Bonferroni-Korrektur  $\alpha = 0.01$

Anmerkung: Dargestellt sind Gruppenmittelwerte (Pixel) mit Standardabweichungen.

Tabelle 7.9

*Transfer-Effekte im Prä-Postvergleich in der Beidhandkoordinationsleistung*

| <i>Rotations-<br/>bedingung</i>                              | <i>Mess-<br/>zeitpunkt</i> | <i>Zeit (sek)</i>   |                     | <i>Wegfehler (Pixel)</i> |                     |
|--|----------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
|  |                            | <i>5-6jährige</i>   | <i>7-8jährige</i>   | <i>5-6jährige</i>        | <i>7-8jährige</i>   |
| <i>B2</i>  | <i>Prätest</i>             | 15.9 (2.9)          | 12.0 (1.9)          | 5122 (2086)              | 2313 (1897)         |
|  | <i>Posttest</i>            | 13.4 (3.0)          | 9.2 (1.4)           | 3545 (2922)              | 1545 (1829)         |
| <i>Unterschiede zwischen<br/>Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> |                            | <i>p = 0,002 **</i> | <i>p = 0.001 **</i> | <i>p = 0.068 ns</i>      | <i>p = 0.044 *</i>  |
| <i>C2</i>  | <i>Prätest</i>             | 15.9 (3.8)          | 12.9 (2.5)          | 7943 (4797)              | 4801 (2906)         |
|  | <i>Posttest</i>            | 12.6 (3.6)          | 10.6 (1.8)          | 4806 (2493)              | 3551 (1617)         |
| <i>Unterschiede zwischen<br/>Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> |                            | <i>p = 0.001 **</i> | <i>p = 0.008 **</i> | <i>p = 0.011 *</i>       | <i>p = 0.234 ns</i> |
| <i>D2</i>  | <i>Prätest</i>             | 25.8 (9.1)          | 18.6 (5.5)          | 12176 (7840)             | 6110 (4275)         |
|  | <i>Posttest</i>            | 19.1 (7.3)          | 12.1 (2.8)          | 8609 (6454)              | 3189 (2598)         |
| <i>Unterschiede zwischen<br/>Messzeitpunkten<sup>a</sup></i> |                            | <i>p = 0.002 **</i> | <i>p = 0.001 **</i> | <i>p = 0.084 ns</i>      | <i>p = 0.008 **</i> |

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

Anmerkung: Angegeben sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen (5-6jährige n=17; 7-8jährige n=16).

## 7.1.2 Tabellen zur Neuromotorik

Tabelle 7.10

Mitbewegungen im Neuromotorik-Test vor und nach dem Beidhandkoordinationstraining

|  | Mitbewegungen (Dauer x Ausmass) |                   |  |
|--|---------------------------------|-------------------|--|
|  | 5-6jährige (n=12)               | 7-8jährige (n=16) | Unterschiede zwischen Altersgruppen <sup>b</sup> |
| <u>dominante Hand</u>                              |                                 |                   |  |
| erster Test  | 8.00 (4.34)                     | 5.38 (2.65)       | p = 0.111 ns                                     |
| Testwiederholung                                   | 5.10 (2.48)                     | 3.16 (1.67)       | p = 0.091 ns                                     |
| Unterschiede zwischen Messzeitpunkten <sup>a</sup> | p = 0.013 *                     | p = 0.001 **      |  |
| <u>nicht-dominante Hand</u>                        |                                 |                   |  |
| erster Test  | 10.87 (3.28)                    | 7.61 (3.05)       | p = 0.009 **                                     |
| Testwiederholung                                   | 6.37 (2.71)                     | 4.67 (2.50)       | p = 0.022 *                                      |
| Unterschiede zwischen Messzeitpunkten <sup>a</sup> | p = 0.002 **                    | p = 0.001 **      |  |

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test; <sup>b</sup> Mann-Whitney-Test; \* p < 0.05; \*\* p < 0.01

Anmerkung: Dargestellt sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen.

Tabelle 7.11

Testwiederholungs-Effekte der Kontrollgruppe im „Zürcher Neuromotorik-Test“

| Messzeitpunkt                                      | Geschicklichkeit (n=20)<br>(Sekunden) | Mitbewegungen (n=20)<br>(Dauer x Ausmass) |
|--|---------------------------------------|---|
| <u>dominante Hand</u>                              |                                       |   |
| erster Test  | 7.17 (0.99)                           | 5.9 (2.6)                                 |
| Testwiederholung                                   | 6.60 (0.77)                           | 5.3 (1.5)                                 |
| Unterschiede zwischen Messzeitpunkten <sup>a</sup> | p = 0.001 **                          | p = 0.340 ns                              |
| <u>nicht-dominante Hand</u>                        |                                       |   |
| erster Test  | 7.65 (1.04)                           | 6.8 (2.7)                                 |
| Testwiederholung                                   | 7.26 (0.81)                           | 6.4 (2.1)                                 |
| Unterschiede zwischen Messzeitpunkten <sup>a</sup> | p = 0.044 *                           | p = 0.600 ns                              |

<sup>a</sup> Wilcoxon-Test: \* p < 0.05; \*\* p < 0.01

Anmerkung: Angegeben sind Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen.

### 7.1.3 Tabellen zur Regressionsanalyse

Tabelle 7.12

Korrelationen zwischen Prädiktor- und Kriteriumsvariablen im Prä- und Posttest (n=27)

| Kriterium      | Prädiktor |        |        |        |        |        |
|----------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | x1        | x2     | x3     | x4     | x5     | x6     |
| Zeit (t1)      | .64 **    | .75 ** | .77 ** | .72 ** | .47 *  | .44 *  |
| Wegfehler (t1) | .41 **    | .61 ** | .58 ** | .68 ** | .33 ns | .40 *  |
| Zeit (t6)      | .73 **    | .70 ** | .77 ** | .70 ** | .49 ** | .45 *  |
| Wegfehler (t6) | .39 *     | .57 ** | .64 ** | .56 ** | .21 ns | .34 ns |

Spearman-Korrelationen: \* p < 0.05; \*\* p < 0.01

Anmerkungen: Für die Kriteriumsvariablen Zeit und Wegfehler wurden die Trainingsbedingungen B1, C1 und D1 zu einem Wert zusammengefasst. Prädiktorvariablen sind:

x1 = Alter Rang

x2 = Aufmerksamkeit

x3 = Neuromotorik Geschicklichkeit, dominante Hand

x4 = Neuromotorik Geschicklichkeit, nicht-dominante Hand

x5 = Neuromotorik Mitbewegungen, dominante Hand

x6 = Neuromotorik Mitbewegungen, nicht-dominante Hand

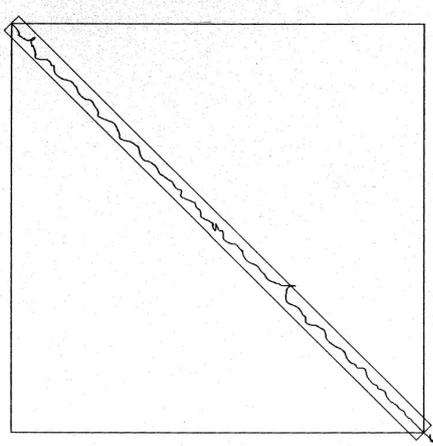
Tabelle 7.13

Interkorrelationsmatrix der Prädiktorvariablen (n=27)

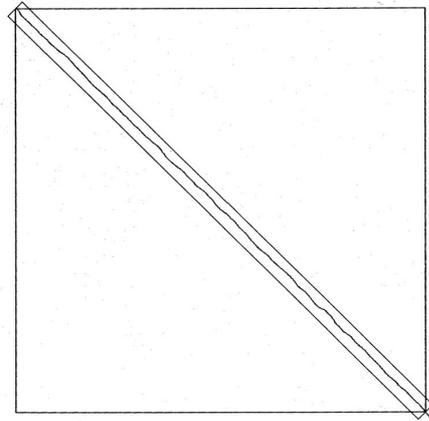
|    | x1     | x2     | x3     | x4     | x5     | x6     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x1 | 1.00   | .66 ** | .63 ** | .66 ** | .20 ns | .29 ns |
| x2 | .66 ** | 1.00   | .77 ** | .72 ** | .21 ns | .40 *  |
| x3 | .63 ** | .77 ** | 1.00   | .86 ** | .20 ns | .19 ns |
| x4 | .66 ** | .72 ** | .86 ** | 1.00   | .24 ns | .22 ns |
| x5 | .20 ns | .21 ns | .20 ns | .24 ns | 1.00   | .69 ** |
| x6 | .29 ns | .40 *  | .19 ns | .22 ns | .69 ** | 1.00   |

Spearman-Korrelationen: \* p < 0.05; \*\* p < 0.01

## 7.2 Beispiele

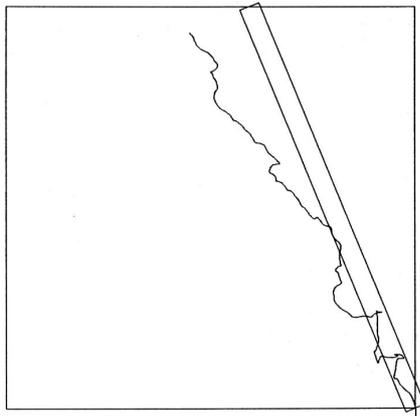


Leistung eines 5jährigen Knaben im Prättest

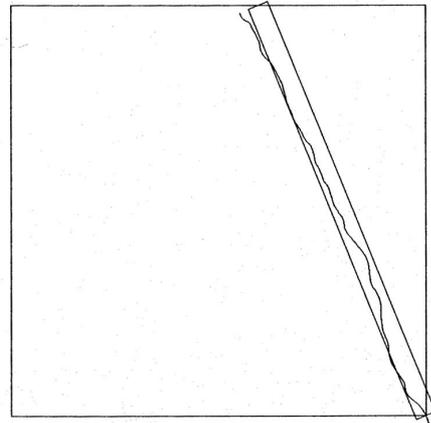


Leistung eines 7jährigen Knaben im Prättest

*Abbildung 7.1* Ausführung der Rotationsbedingung **B1** (↻↻) im Altersvergleich. Die Wellenförmigkeit der Spur kommt durch mangelnde Synchronisierung der Drehbewegungen der Hände zustande.

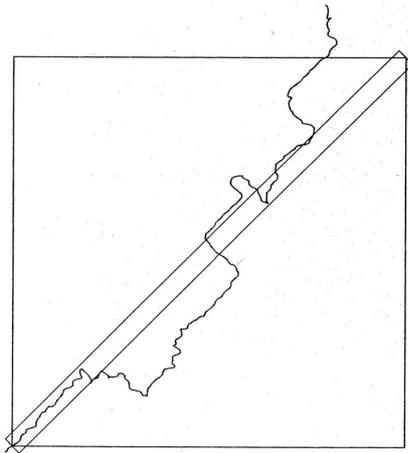


Leistung eines 5jährigen Mädchens im Prättest

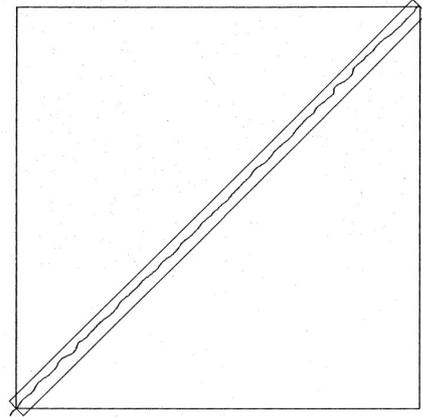


Leistung eines 5jährigen Mädchens im Posttest

*Abbildung 7.2* Ausführung der Rotationsbedingung **C1** (↻↻) vor und nach dem Training. Die unterschiedliche Drehgeschwindigkeit der rechten und linken Hand kann im Prättest noch nicht realisiert werden. Im Posttest gelingt dies auch einem 5jährigen Mädchen schon weitgehend.



Leistung eines 5jährigen Mädchens im Prätest



Leistung eines 5jährigen Mädchens im Posttest

*Abbildung 7.3* Ausführung der Rotationsbedingung **D1** (↻↻) vor und nach dem Training. Im Prätest kommt es zu häufigen Richtungswechseln von parallelen zu spiegelbildlichen Rotationsbewegungen. Im Posttest kann das geforderte Koordinationsmuster, beide Hände parallel im Uhrzeigersinn zu bewegen, aufrechterhalten werden.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Herrn Michael Wannke danke ich dafür, dass er ein Programm geschrieben hat, mit dem einzelne Aufgabendurchgänge nach erfolgter Durchführung angeschaut und ausgedruckt werden können.

## 7.3 Instruktionen für die Beidhandkoordinationsaufgaben

### 7.3.1 Standardisierung der Untersuchungssituation

- Stuhlhöhe passend zur Höhe der Kurbeln. Die Füße der Kinder sollen auf der Unterlage stehen.
- Der Ellbogen-Winkel soll etwa 90° betragen.
- Für den Kurbelabstand beim ersten Kind Maß nehmen. Er soll etwa Schulterabstand  $\pm$  5cm betragen. Dann für die jeweilige Altersgruppe immer gleich einrichten.
- Der Abstand zwischen Kurbeln und Bildschirm wurde beim ersten Kind auf 36 cm festgelegt.

Mit dem Kind wird besprochen, wie es sich während der Testung verhält, damit es die Aufgaben so gut wie möglich durchführen kann. Dazu gehört eine mündliche Vereinbarung, dass es sich ganz auf die Aufgabe konzentriert und andere Themen auf die kleine Pause und den Schluss der Sitzung aufschiebt. Das Kind wird darauf aufmerksam gemacht, dass es die Stecker am Kurbelgehäuse nicht anfassen darf.

Folgende Instruktionen wurden in Schweizer Mundart gegeben:

### 7.3.2 Instruktionen für Block 1

#### 7.3.2.1 Rotationsbedingung A1

„Du siehst jetzt gleich auf dem Bildschirm eine gerade Strasse.“

„Unten in der Strasse kannst Du Dir ein kleines Mäuschen vorstellen, es soll so schnell wie möglich die Strasse hinauf laufen.“

„Damit es das macht, musst Du am rechten Rad in die Richtung drehen.“ (zeigen: Aussenrotation)

„Jetzt fass' bitte beide Kurbeln ganz locker an, und wenn die Strasse zum Vorschein kommt, musst Du mit der rechten Hand (auf die Hand zeigen) drehen, so schnell Du kannst.“

„Und noch einmal das Gleiche, so schnell wie möglich!“

„Jetzt sitzt das Mäuschen oben und soll so schnell wie möglich hinunter laufen. Damit es das macht, musst Du mit der rechten Hand in die andere Richtung drehen.“ (zeigen: Innenrotation)

„Und noch einmal das Gleiche, so schnell wie möglich.“

### 7.3.2.2 Rotationsbedingung A2

„Jetzt sitzt das Mäuschen auf der rechten Seite und soll so schnell wie möglich auf die andere Seite laufen. Jetzt musst Du am linken Rad in die Richtung drehen.“ (zeigen: Aussenrotation)

„Fass’ bitte beide Kurbeln ganz locker an und dreh’ mit der linken Hand (auf die Hand zeigen), so schnell Du kannst.“

„Und noch einmal das Gleiche, so schnell wie möglich.“

„Jetzt sitzt das Mäuschen auf der linken Seite und soll wieder so schnell wie möglich auf die andere Seite laufen. Jetzt musst Du mit der linken Hand in die Richtung drehen.“ (zeigen: Innenrotation)

„Und noch einmal das Gleiche, so schnell wie möglich.“

### 7.3.3 Instruktionen für Block 2 und 3

#### 7.3.3.1 Spiegelbildliche Rotationsbedingungen B1 (↺↻), B2 (↻↺)

„Jetzt siehst Du eine Strasse, die schräg ist. Damit das Mäuschen schräg laufen kann, musst Du an beiden Rädern gleichzeitig nach aussen (nach innen) drehen (zeigen).“

„Fass’ bitte beide Kurbeln ganz locker an. Wenn die Strasse zum Vorschein kommt, soll das Mäuschen von unten nach oben in der Mitte der Strasse laufen. Bitte dreh’ so schnell wie möglich und probier’, in der Mitte der Strasse zu bleiben.“

Hält das Kind die Richtung etwa ein, nicht darauf drängen, dass es in die Bahn zurückkehrt. Das Kind wird jedes Mal, wenn es eine falsche Richtung einschlägt, verbal korrigiert. Wenn nötig wird ihm die Bewegung in der Luft vorgemacht. Eventuell muss es daran erinnert werden, mit beiden Händen gleichzeitig zu drehen und die Kurbeln locker zu handhaben. Zwischen den Durchgängen, wenn nötig, noch einmal zeigen, wie man drehen muss.

„Und noch einmal das Gleiche, so schnell wie möglich in der Mitte von der Strasse.“

„Und noch einmal das Gleiche.“

#### 7.3.3.2 Asynchrone Rotationsbedingungen C1 (↺↻), C2 (↻↺)

„Dieses Mal ist die Strasse flach (steil). Damit das Mäuschen auf dieser Strasse laufen kann, musst Du mit der rechten (linken) Hand schneller drehen als mit der linken (rechten), aber gleichzeitig. Also die rechte (linke) Hand ist ein schneller Hase, und die linke (rechte) Hand eine langsame Schnecke. Beide Hände drehen nach aussen.“ Dem Kind zeigen, wie die rechte (linke) Hand gleichzeitig schneller drehen kann als die linke (rechte).

„Fass’ bitte beide Kurbeln ganz locker an. Wenn die Strasse zum Vorschein kommt, soll das Mäuschen in der Mitte der Strasse von unten nach oben laufen.“

„Bitte dreh’ da (auf die Hand zeigen) schnell und da (auf die Hand zeigen) langsam und probier’, in der Mitte der Strasse zu bleiben.“

„Und noch einmal das Gleiche, in der Mitte der Strasse.“

„Und noch einmal das Gleiche.“

### 7.3.3.3 Parallele Rotationsbedingungen **D1** (↺↺), **D2** (↻↻)

„Dieses Mal siehst Du eine Strasse, die so schräg ist (zeigen). Jetzt musst Du mit beiden Händen gleichzeitig in die Richtung drehen.“ (zeigen: im Uhrzeigersinn bzw. dagegen. Man kann auch eine Ortsangabe machen, z. B. zur Wand / zum Schreibtisch drehen)

„Fass' bitte beide Kurbeln ganz locker. Wenn die Strasse zum Vorschein kommt, soll das Mäuschen so schnell wie möglich in der Mitte der Strasse von unten nach oben (von oben nach unten) laufen.“

„Bitte dreh' so schnell wie möglich und probier', in der Mitte der Strasse zu bleiben.“

„Und noch einmal das Gleiche, so schnell wie möglich.“

„Und noch einmal das Gleiche.“

## 7.4 Fragebogen

### Fragebogen und Zustimmungserklärung für Eltern zur Untersuchung über die Entwicklung der motorischen Koordinationsfähigkeit beim Kind

Die hier gemachten Angaben werden streng vertraulich behandelt: Alle an der Untersuchung beteiligten Personen unterliegen der Schweigepflicht. Die Auswertung erfolgt anonym und ausschliesslich zu wissenschaftlichen Zwecken.

Name des Kindes: ..... geb.: .....

#### 1 ) Angaben zur Händigkeit

Ist Ihr Kind

Rechtshänder       Linkshänder       noch unentschieden?

Gibt es in der unmittelbaren Verwandtschaft (Vater, Mutter, Geschwister) Linkshänder?

ja       nein

#### 2) Angaben zur Entwicklung des Kindes

Konnte Ihr Kind zur normalen Zeit frei sitzen (bis 8 Monate)?

ja       verspätet

Hat Ihr Kind zur normalen Zeit laufen gelernt (bis 18 Monate)?

ja       verspätet

Kann Ihr Kind freihändig und mit Beinwechsel Treppen steigen?

ja       noch nicht

Kann Ihr Kind einen Ball fangen, den es selbst hochgeworfen hat?

ja       noch sehr ungeschickt

Kann Ihr Kind Velo fahren?

ohne Stützräder       mit Stützrädern (Dreirad)       nein

Kann Ihr Kind einen Stift korrekt zwischen 3 Fingern halten und Vorlagen sauber ausmalen?

ja       noch nicht

Kann Ihr Kind mit einer Kinderschere umgehen?

ja       noch sehr ungeschickt

Kann Ihr Kind sich selbständig an- und ausziehen und Knöpfe zumachen?

ja       nur mit viel Hilfe

Wann konnte Ihr Kind in 1-2-Wortsätzen sprechen?

mit 2 Jahren       später

Besteht bei Ihrem Kind eine Konzentrationsschwäche?

nein       ja

Ist Ihr Kind auffallend unruhig?

nein       ja

Spielt Ihr Kind ein Instrument?

nein       ja, welches:

.....

3) Angaben zur Schwangerschaft und Geburt

Gab es Erkrankungen der Mutter und Komplikationen während der Schwangerschaft?

nein  ja, welche:

.....

War die Geburt normal?

ja  nein, welche Besonderheiten:

.....

.....

4) Angaben zu Krankheiten des Kindes

Bisherige aussergewöhnliche Krankheiten / Unfälle: .....

.....

Krankheiten in der Familie (beispielsweise Allergien): .....

.....

Hat Ihr Kind eine Sehbehinderung?

nein  ja

Wenn ja, ist diese durch eine Brille oder anderes (z. B. durch Operation) korrigiert?

ja  nein

Hat Ihr Kind eine Hörbehinderung?

nein  ja

Wenn ja, ist diese durch ein Hörgerät oder anderes (z. B. durch Operation) korrigiert?

ja  nein

Hat Ihr Kind eine Sprachauffälligkeit?

nein  ja, welcher Art:

.....

Hat Ihr Kind eine Lernstörung?

nein  ja, welcher Art:

.....

Erhält Ihr Kind eine heilpädagogische Förderung oder eine Therapie (z. B. Logopädie)?

nein  ja, welche:

.....

Als Mutter / Vater / Erziehungsberechtigte(r) des Kindes wurde ich über den Zweck der Untersuchung meines Kindes informiert und gebe hierzu mein Einverständnis:

\_\_\_\_\_

Ort

Datum

Unterschrift

Telefon

Bei Interesse an der Zusendung einer Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse bitte hier Name und Adresse angeben:

.....

.....

## Danksagung

An erster Stelle gebührt meinem Mann, Michael Weber, ein grosser Dank für seine nicht enden wollende Bereitschaft und Unterstützung dafür, dass er mir einerseits den Rücken für die Arbeit freigehalten und andererseits für die notwendige Erholung zwischendurch gesorgt hat. Er hat auch mit Rat und Tat in Computerfragen geholfen, Korrektur gelesen und für den letzten sprachlichen Schliff des Textes gesorgt.

Herrn Prof. Dr. Bruno Preilowski danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Beidhandkoordinationsgerätes mit computergestütztem Programm. Damit ermöglicht er mir auch weitergehende klinische Untersuchungen in diesem Gebiet. Sein Interesse an meiner Fragestellung, seine stete Bereitschaft in der Betreuung meiner Arbeit und die fruchtbaren Diskussionen mit ihm und mit den Kolleginnen und Kollegen – namentlich Dipl.-Psych. Anja Blender und Dipl.-Psych. Michael Wannke – im Rahmen der Arbeitsgruppe Klinische und Experimentelle Neuropsychologie waren sehr wichtig und anregend für mich. In diesem Sinne gebührt ebenfalls Dipl.-Psych. Doris Rechsteiner ein sehr herzlicher Dank. Herrn Dipl.-Psych. Uli Föhl – auch über etliche Kilometer hinweg – und Herrn Dr. Jan-Peter Trepp möchte ich ganz besonders für ihre Unterstützung bei Berechnungen und für die Beratung in statistischen Detailfragen danken.

Danken möchte ich weiter ausdrücklich Herrn Dr. Laco Gaäl, der mir einen Test zur visuellen Aufmerksamkeit zur Verfügung gestellt und diesen nach meinen Vorschlägen im Hinblick auf die Fragestellung meiner Arbeit erweitert und programmiert hat. Auch diese Zusammenarbeit war über eine weite Entfernung hinweg möglich. Herrn Prof. Dr. med. Remo Largo und Herrn Dr. med. Sepp Holz danke ich für die Schulung in der Durchführung und Auswertung des Zürcher Neuromotorik-Tests und für die Überlassung von Auswertungsvideos und -unterlagen.

Bei Herrn Prof. Dr. med. Hanspeter Gnehm und Herrn Dr. med. Vince da Silva danke ich mich sehr herzlich für die ideelle Unterstützung meines Projektes und die Ermöglichung einer flexiblen Arbeitszeitgestaltung, ohne die die Durchführung der Untersuchungen nicht machbar gewesen wäre. Dem Kantonsspital Aarau danke ich für die finanzielle Unterstützung bei der Anschaffung von Testgeräten und Gratifikationen der Probanden.

Zuletzt gebührt ein ganz grosses Dankeschön den Eltern und Kindern, die mir einige Zeit geopfert und mit grossem Engagement an den Untersuchungen teilgenommen haben.