

Aus der Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie  
Klinikum für Neuropsychologie  
Krankenhaus München Bogenhausen  
Akademisches Lehrkrankenhaus der Technischen-Universität München

**Die Imitation von bedeutungslosen Armgesten nach unilateraler  
Hirnschädigung**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Marian Cornelius Pöttsch

aus  
München

2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. Joachim Hermsdörfer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. A. Danek  
Priv. Doz. Dr. F. Padberg

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 12.07.2007

# Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>1. Einleitung</b>	3
1.1. Apraxie	4
1.2. Imitation bedeutungsloser Gesten	9
1.3. Studien zur Imitation bedeutungsloser Gesten	10
1.4. Studien zur Bewegungskinetik bei Apraxie	19
1.5. Eigene Fragestellung	21
<b>2. Material und Methoden</b>	
2.1. Überblick	25
2.2. Versuchspersonen	26
2.3. Versuchsdurchführung	34
2.4. Versuchsaufbau	37
2.5. Bewegungsanalyse	39
2.6. Datenanalyse	41
2.7. Angewandte statistische Verfahren	45
<b>3. Ergebnisse</b>	
3.1. Graphische Darstellung der Figuren	47
3.2. Statistische Auswertung der Armbewegungen	54
3.3. Statistische Auswertung der Zielbewegungen	65
3.4. Korrelationen	66
3.5. Wahrnehmungsanalyse	73
3.6. Bewegungsrichtung	75
<b>4. Diskussion</b>	78
<b>5. Zusammenfassung</b>	95
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	97

# 1. EINLEITUNG

Auch wenn jeder von uns wechselnde Verhaltensweisen zeigt, so ist es eine Grundannahme der Neuropsychologie, dass jeder Mensch konstante Fähigkeiten und Eigenschaften besitzt. Diese lassen sich verschiedenen Hirnregionen zuweisen. Durch neurologische Krankheiten, wie z.B. Schlaganfälle, kann es zu einem Ausfall bestimmter Hirnregionen, z.B. im Bereich des Temporallappens, und damit verbundener Fähigkeiten kommen. Dadurch lassen sich Rückschlüsse ziehen, welches Hirnareal für welche Fertigkeiten verantwortlich ist. Franz Joseph Gall (1758 – 1882), einer der Begründer der Neuropsychologie, bezeichnete Fähigkeiten und Gemütseigenschaften, die es in der Psyche des Menschen gäbe, als "Fakultäten". Diese Fakultäten ordnete er bestimmten Regionen des Gehirns zu, so zum Beispiel der "Zahlensinn". Sei einer dieser Sinne besonders ausgeprägt, buchte er den darüber liegenden Teil des Schädels aus. Doch obwohl sich diese Theorie nicht bestätigte, so ist in ihr eine grundsätzliche Annahme der modernen Neuropsychologie enthalten, nämlich, dass sich bei allen wechselnden Verhaltensweisen von Menschen konstante Fähigkeiten und Eigenschaften äußern. Diese sind Produkte umschriebener Regionen des Gehirns und können einzelnen Lokalisationen zugeordnet werden (7).

Die Apraxie ist eine klassische Erkrankung aus dem Bereich der Neuropsychologie.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Imitation von Gesten, die sich dazu eignet, diese Krankheit einzuschätzen. Es soll nun zunächst auf den Begriff Apraxie eingegangen werden.

## 1.1. Apraxie

### *Historische Entwicklung*

Anfang des vorigen Jahrhunderts untersuchte Liepmann Pantomime und Imitation bei 42 Patienten mit linksseitiger und 41 Patienten mit rechtsseitiger Hirnschädigung (26, 27). Er stellte dabei bei den Patienten mit linksseitiger Schädigung Fehlleistungen und Schwierigkeiten bei Pantomime und Imitation fest, während die rechtsseitig geschädigten Patienten keine Fehler aufwiesen. Dazu entwickelte er ein Modell über Hirnfunktionen der linken Hemisphäre. Es betraf die Handlungsplanung von Willkürbewegungen und beschrieb eine Hierarchie der Handlungsplanung. Daraus entwickelte er die Diagnose Apraxie, die er generell als Störung im Ablauf der Bewegungsplanung klassifizierte. Er teilte die Planung einer Willkürbewegung im Gehirn in drei Stufen: Den Entwurf einer Bewegungsvorstellung, der die höchste Stufe darstellt und als eine Leistung des ganzen Gehirns anzusehen ist. Das Umsetzen des Handlungsentwurfs in motorische Programme, was ausschließlich in der linken Hemisphäre erfolgt. Schließlich die Ausführung des motorischen Plans. Dies stellt die dritte, unterste Stufe dar und ist Leistung beider Hemisphären. Eine Störung des Bewegungsentwurfs bezeichnete Liepmann als ideatorische Apraxie, eine Störung des Umsetzens des Entwurfs in motorische Programme als motorische oder ideo-kinetische Apraxie und eine Störung der Ausführung des motorischen Plans als gliedkinetische Apraxie. Dabei ging es Liepmann vor allem um das Umsetzen eines Bewegungsentwurfs in ein motorisches Programm. Diese Leistung kann allein von der linken Hemisphäre übernommen werden. Diese Annahme sah er dadurch begründet, dass nur linksseitig geschädigte Patienten Fehler bei der Imitation begingen. Die Handlungsplanung, die erste Stufe, wird dadurch übersprungen und es geht lediglich um das Umsetzen vorgemachter Bewegungen in motorische Aktionen.

Die Annahme, dass mit der Imitation speziell die linke Hemisphäre geprüft werden kann, ist auch heute noch gültig.

### *Lokalisation, Manifestation und Ursache*

Generell entsteht eine Apraxie durch eine Hirnschädigung im Bereich der sprachdominanten Hemisphäre. Dabei handelt es sich fast immer um die linke Hirnhälfte. Deshalb sind die meisten Patienten auch aphasisch.

Bei einer Schädigung in der rückwärtigen Parietalregion, meistens der rechten Hemisphäre, kann es zu einer sogenannten konstruktiven Apraxie kommen. Dabei handelt es sich um eine Störung gestaltender Handlungen, die unter visueller Kontrolle ausgeführt werden. Die Bewegungsfähigkeit ist wie auch bei den anderen Apraxietypen erhalten. Der Patient hat Schwierigkeiten beim Zusammenfügen von einzelnen Elementen zu einem räumlichen Gebilde (29). Schließlich sei noch erwähnt, dass auch eine Läsion des Corpus callosum zu Apraxie führen kann, der sogenannten Balken-Apraxie. Dabei kommt es durch einen Kontrollverlust der linken Hemisphäre über die von der rechten Hemisphäre aus gesteuerten motorischen Aktionen zu einer Apraxie der linksseitigen Extremitäten (7).

Apraxien lassen sich anhand ihrer Manifestationen in die Gliedmaßenapraxie, die Apraxie des Gesichts und des Mundes und die Sprechapraxie unterteilen. Die Sprechapraxie stellt eine Sonderform im Sprach- und Sprechsystem dar (7).

In der vorliegenden Arbeit geht es um die Gliedmaßenapraxie, wobei hier die oberen Extremitäten untersucht werden. Im Allgemeinen besteht die Meinung, dass Apraxien der oberen und unteren Extremitäten nicht unabhängig voneinander auftreten (8, 21). Dass von manchen Autoren die oberen Extremitäten als stärker betroffen bezeichnet werden, könnte an einem anatomisch bedingten Untersuchungsartefakt liegen: die oberen Extremitäten haben mehr Freiheitsgrade und bieten daher mehr Möglichkeiten für fehlerhafte Ausführungen (9). Da es sich aber lediglich um Abstufungen einer einheitlichen Störung handelt, kann sich die Prüfung auf Bewegung der oberen Gliedmaßen beschränken (25, 30, 31).

Eine Hirnschädigung, die zu Apraxie führt, kann verschiedene Ursachen haben: die häufigsten sind Schlaganfälle (meistens im Media-Stromgebiet), ein Trauma oder ein Tumor.

### *Definition*

Üblicherweise wurde Apraxie in ideomotorische und ideatorische Apraxie unterteilt (26, 27, 29, 34). Demnach wurden Fehler bei der Imitation von bedeutungsvollen oder bedeutungslosen Gesten sowie die Pantomime bestimmter Handlungsfolgen der ideomotorischen Apraxie zugeordnet. Fehler in der Durchführung von Handlungen mit Objekten (Ideation bedeutet Bewegungsentwurf) wurden der ideatorischen Apraxie zugeordnet, (29, 34). In der Praxis wird die Unterscheidung oft so verwendet, dass Störungen im Umgang mit Objekten als ideatorisch und Störungen von Handlungen ohne Objekt als ideomotorisch bezeichnet werden.

Gemein ist den meisten Klassifizierungen der Apraxie, dass es sich dabei um das fehlerhafte Ausführen motorischer Aktionen handelt. Das betrifft das Ausführen von Einzelbewegungen zu Bewegungsfolgen und von Bewegungen zu Handlungsfolgen, wobei die Bewegungsfähigkeit erhalten ist. Das heißt, die Störung kann nicht auf elementare motorische, sensorische oder kognitive Defizite zurückgeführt werden. Die Patienten können aber die Bewegungen, die sie selbst nicht ausführen können, beim Untersucher sofort als richtig oder falsch erkennen.

Die Diagnose lässt sich einigermaßen verlässlich stellen unter der Beachtung, dass die Störung selektiv die Planung oder Ausführung von motorischen Aktionen betrifft und bei einseitigen Läsionen immer auch die zur Läsion ipsilaterale Seite des Körpers . Mögliche Störungen, die sich in einer von Goldenberg formulierten Apraxieprüfung (9) manifestieren können, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Zur Läsion ipsilaterale Störung der feinmotorischen Koordination und Geschwindigkeit.
2. Störung in der Imitation von Bewegungen, bei der vorgezeigte

Bewegungsziele falsch aufgefasst oder falsch umgesetzt werden (diese Störung manifestiert sich verstärkt, wenn die Bewegungsziele im Kurzzeitgedächtnis gespeichert werden müssen).

3. Perseverationstendenz und mangelhafte Flexibilität der Kontrolle, die bei der Durchführung von Bewegungssequenzen den Wechsel zwischen mehreren Bewegungszielen behindern.

4. Mit der Aphasie verbundene verminderte Fähigkeit, symbolische Gesten ihrer Bedeutung zuzuordnen.

5. Einschränkung der Fähigkeit, mit dem Gebrauch von Objekten verbundene Finger - und Handstellungen ohne tatsächliche Handhabung des Objekts aus dem Gedächtnis abzurufen.

6. Selektive Störung des semantischen Gedächtnisses, die das Wissen über den richtigen Gebrauch von Gegenständen betrifft.

7. Allgemeine Planungsstörung, die sich u.a. bei der Organisation und Durchführung komplexer Handlungen mit mehreren Objekten manifestiert.

### *Die Pantomime des Objektgebrauchs*

In Bezug auf Apraxie geht es nicht nur um die Verwendung von Werkzeug und Objekten, sondern auch um die Pantomime davon. So sind die meisten Patienten, die den Gebrauch eines Gegenstandes nicht pantomimisch darstellen können, trotzdem in der Lage, diesen Gegenstand bei Aushändigung richtig anzuwenden (15). In der pantomimischen Darstellung begehen die Patienten zeitliche und räumliche Fehler, sie benützen das Werkzeug falsch, sie führen unpassende zusätzliche oder zögerliche Bewegungen aus, sie benützen die eigene Hand stellvertretend für das Werkzeug ("body-part-as-object").

In einer Studie von Goldenberg und Mitarbeitern wurde die Pantomime des Objektgebrauchs, das Zeichnen von Figuren aus dem Gedächtnis, die Imitation bedeutungsloser Gesten und Aphasie untersucht (14). Dabei zeigte sich, dass linksseitig geschädigte Patienten wesentlich mehr Schwierigkeiten bei der Pantomime des Objektgebrauchs hatten, als rechtsseitig Geschädigte. Diese hatten mehr Probleme mit dem Zeichnen als mit der Pantomime.

Möglicherweise ist eine mangelnde Fähigkeit, verschiedene Aspekte von Objekten und Aktionen zu unterscheiden und zu kombinieren, die Ursache für die gestörte Pantomime bei linkshemisphärisch geschädigten Patienten. Es scheint, als wäre die Pantomime des Objektgebrauchs eine zentrale Funktion der linken Hemisphäre.

### *Imitation von Gesten*

Apraktische Patienten begehen nicht nur Fehler bei der Pantomime des Objektgebrauchs, sondern auch bei der Imitation von Gesten. Diese können bedeutungsvoll (z.B. das Ballen einer Faust) oder bedeutungslos sein. In Studien (s. Kap. 1.3.) hat sich gezeigt, dass apraktische Patienten vor allem beim Imitieren bedeutungsloser Gesten Schwierigkeiten hatten.

Somit ergibt sich eine Einteilung der Apraxie in drei Gruppen:

Werkzeug - und Objektgebrauch, Pantomime des Objektgebrauchs und Imitation von Gesten.

### *Body knowledge und Körperschemastörung*

In Studien von Goldenberg und Mitarbeitern konnte gezeigt werden, dass linksseitig geschädigten Patienten ein generelles Gefühl für den eigenen Körper zu fehlen scheint, um bestimmte Bewegungen auszuführen (10, 11, 12, 13). Dieses konzeptionelle Wissen über Körperfunktionen und -stellungen ist nötig, um gewisse Bewegungen auszuführen, z.B. das Imitieren bedeutungsloser Gesten. Eine Störung hierbei kann möglicherweise auch als Kriterium für Apraxie betrachtet werden.

In einer Arbeit von Buxbaum und Mitarbeitern wurde auch der Begriff Körperschemastörung in Zusammenhang mit Apraxie formuliert (2). Außerhalb des Arbeitsgedächtnisses, im posterioren parietalen Kortex spielen sich Prozesse ab, die dynamische Positionen der Körperteile von sich selbst

und anderen betreffen. Kommt es hier zu einer Schädigung, liegt eine "apraktische Körperschemastörung" vor.

## **1.2. Imitation bedeutungsloser Gesten**

Vor ca. 30 Jahren wurden von Geschwind und Mitarbeitern die These aufgestellt, dass Apraxie durch Abkoppelung der linken Hirnhälfte entsteht (6). Der apraktische Patient könne eine Bewegung auf verbale Instruktion nicht ausführen, da die linke Hirnhälfte, welche die verbale Aufforderung auf die rechte Hirnhälfte mit motorischen Arealen überträgt, von der rechten abgeschnitten sei.

Das müsste zur Folge haben, dass apraktische Patienten in der Lage sind, korrekt Gesten zu imitieren oder Werkzeuge und Objekte zu gebrauchen, oder den Gebrauch derselben pantomimisch darzustellen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass apraktische Patienten gerade dabei Schwierigkeiten haben. Die mangelnde Ausführung einer verbalen Instruktion kann durch eine bei apraktischen Patienten häufig einhergehende Aphasie bedingt sein. Deshalb ist die Imitation von Gesten ein wichtiger Bestandteil der Apraxieprüfung. So kann sicher gestellt werden, dass eine Ausführungsstörung nicht auf ein mangelndes Sprachverständnis zurückzuführen ist.

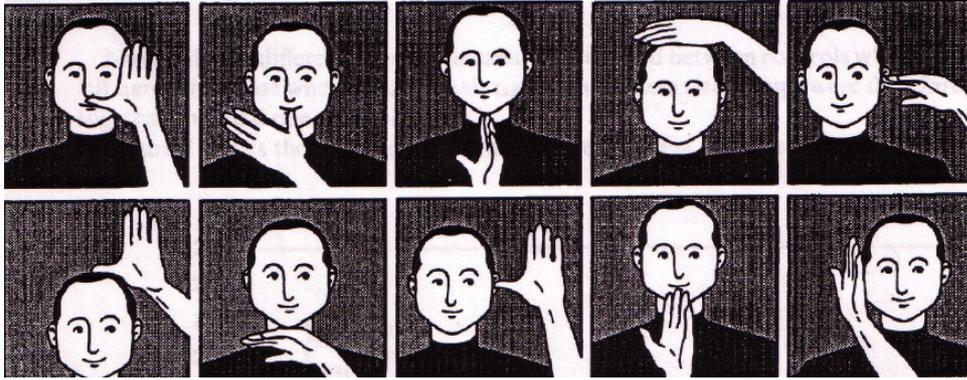
Es gibt Gesten mit und ohne Bedeutung. Eine bedeutungsvolle Geste wäre zum Beispiel ein militärischer Salut. Um diese Geste auszuführen muss man, abgesehen von der motorischen Leistung, auch auf das semantische Gedächtnis zurückgreifen. Wenn die Geste keine Bedeutung hat, entfällt der nötige Zugriff auf das semantische Gedächtnis, da das Gesehene nicht mit Erfahrungen in Verbindung gesetzt werden kann. In einer Studien zur Imitation von Gesten zeigte sich, dass apraktische Patienten vor allem Schwierigkeiten beim Imitieren bedeutungsloser Gesten hatten (11).

In den meisten Studien die zum Imitieren von Gesten durchgeführt wurden, darf der Patient die Geste erst dann nachmachen, wenn die Präsentation durch den Untersucher abgeschlossen ist. Somit wird sichergestellt, dass die Geste aus dem Arbeitsgedächtnis abgerufen wird (7). Um die Imitation erfolgreich durchzuführen, muss der Patient erst einen Bewegungsplan erstellen, den er dann motorisch umsetzen muss.

### **1.3. Studien zur Imitation bedeutungsloser Gesten**

*Goldenberg, 1995*

In einer Studie wurden 35 Patienten mit links - und 20 Patienten mit rechtshemisphärischer Schädigung sowie eine Kontrollgruppe von 30 Personen untersucht (12). Dabei sollten bedeutungslose Handgesten nicht nur mit dem eigenen Körper, sondern auch an einer lebensgroßen Puppe imitiert werden. Es fiel eine deutliche Verschlechterung von linksseitig geschädigten Patienten bei der Imitation der Bewegungen an der Puppe auf. Dies legte den Verdacht nahe, dass die Störung des Bewegungsablaufes eher auf konzeptioneller als auf ausführender Ebene gesucht werden muss. Möglicherweise fehlte den Patienten konzeptionelles Wissen über den eigenen Körper, das notwendig ist, um die Imitationen auszuführen.



**Abbildung 1**

Imitation bedeutungsloser Handgesten

(aus Goldenberg (12))

Die Darstellung der zu imitierenden Handgesten erfolgte durch den Untersucher. Dabei handelt es sich um 10 bedeutungslose Gesten, die den Patienten einmal vorgeführt wurden und im Anschluss imitiert werden sollten. Für jede korrekte Imitation wurden 2 Punkte vergeben. Musste die Imitation noch einmal vorgeführt werden, gab es einen Punkt. Konnte sie vom Patienten nicht ausgeführt werden, wurde kein Punkt vergeben.

*Goldenberg, 1996*

In einer weiteren Studie wurden bedeutungslose Gesten von 40 rechts- und 80 linksseitig geschädigten Patienten, sowie 60 Kontrollen verglichen (10). Es wurden Hand- und Fingerpositionen, sowie kombinierte Hand- und Fingergesten untersucht.

Dabei zeigte sich, dass das Imitieren von Fingergesten in beiden Gruppen verschlechtert war, während die Imitation der Handbewegungen vor allem bei den linksseitig geschädigten Patienten verschlechtert war. Daraus ergibt sich, dass die Schädigung weniger im Bereich der motorischen Ausführung zu suchen ist. Warum sollte sonst nicht auch die Imitation der Handbewegungen verschlechtert sein? Eine andere Erklärung ist, dass den linksseitig geschädigten Patienten ein Kenntnis über ihren eigenen Körper fehlt, während bei den rechtsseitig geschädigten Patienten das Problem in der visuell-räumlichen Bewegungsanalyse zu suchen ist.

*Goldenberg et al. 1997*

An zwei Patienten mit linkseitigen Läsionen im inferioren Parietallappen konnte gezeigt werden, dass bedeutungslose Handgesten unabhängig von einer unauffälligen pantomimischen Leistung gestört sein können (11).

Die verschlechterte Imitation bedeutungsloser Gesten stand im Gegensatz zur erhaltenen Wiedergabe bedeutungsvoller Gesten nach verbaler Aufforderung und erhaltener Imitation bedeutungsvoller Gesten. Dadurch bestärkte sich der Verdacht der Existenz einer separaten Route für bedeutungslose Handgesten.

Die Ergebnisse widersprechen einem 2-Stufen-Modell der Apraxie, das zwischen apraktischen Fehlern auf konzeptioneller und ausführender Ebene unterscheidet. Die fehlerhafte Imitation bedeutungsloser Gesten wurde dabei einer Schädigung auf ausführender Ebene zugeordnet. Dies wird durch die unterschiedliche Imitation bedeutungsvoller und bedeutungsloser Gesten widerlegt. Die Unterbrechung einer direkten Route von der Wahrnehmung zu Ausführung der Bewegung könnte den Unterschied zwischen gestörter Imitation bedeutungsloser Gesten und erhaltener Imitation bedeutungsvoller Gesten erklären. Doch auch wenn bedeutungslose Gesten nicht im Langzeit-Gedächtnis, bzw. im semantischen Gedächtnis gespeichert sind, ist für dessen Ausführung eine generelle Kenntnis über die eigene Körperstruktur nötig.

*Goldenberg, 1999*

Schließlich wurde in einer weiteren Studie das Erkennen und Imitieren bedeutungsloser Hand - und Fingergesten untersucht (13). 35 Links- und 21 rechtsseitig geschädigte Patienten, sowie 17 gesunde Probanden sollten eine Geste aus vier verschiedenen erkennen, die ihnen unter unterschiedlichen Aspekten vorgeführt wurden. Anschließend sollten die Patienten die Geste imitieren.

Dabei stellte sich heraus, dass linksseitig geschädigte Patienten mehr Schwierigkeiten bei der Imitation als beim Erkennen der Gesten aufwiesen, während rechtsseitig geschädigte mehr Probleme beim Erkennen als beim Imitieren hatten. Wieder zeigte sich, dass zudem linksseitig geschädigte

Probanden mehr Probleme beim Imitieren von Handgesten, als beim Imitieren von Fingergesten hatten.

Hieraus lässt sich schließen, dass Fehler bei rechtsseitig geschädigten eher auf eine fehlerhafte visuell-aufnehmende Verarbeitung zurückzuführen sind, während bei den linksseitig geschädigten Patienten der Fehler im Bewegungskonzept zu suchen ist.

Zusammenfassend ergeben sich aus den Ergebnissen der angeführten Studien die folgenden Schlussfolgerungen:

Linksseitig geschädigte Patienten sind bei der Imitation von Handgesten selektiver betroffen als bei der Imitation von Fingergesten.

Die Darstellung bedeutungsloser Gesten scheint für apraktische Patienten im Vergleich zu bedeutungsvollen Gesten erschwert.

Die Störung der Imitation bedeutungsloser Gesten ist bei diesen Patienten eher auf konzeptioneller als auf motorischer Ebene zu suchen, auch nicht in einer fehlerhaften Aufnahme einer Bewegung. Dabei scheint den Patienten ein Kenntnis über die Relation der Körperteile zueinander zu fehlen, das ihnen ermöglicht, einfache Bewegungen zu wiederholen.

Diese Bewegungen sind aufgrund ihrer Bedeutungslosigkeit nicht im semantischen Gedächtnis gespeichert, ein Bewegungskonzept muss gedanklich entworfen werden. Der Weg zur Ausführung der Geste führt nicht über einen "Umweg" über das Langzeitgedächtnis. Eine direkte Route von der Wahrnehmung der Bewegung bis zu ihrer Ausführung scheint unterbrochen zu sein.

Da es in vorliegender Arbeit um die Imitation bedeutungsloser Armgesten ging, soll insbesondere auf zwei Studien eingegangen werden, in denen diese Bewegungen untersucht wurden.

*Platz et al., 1995*

Eine Studie zur Imitation bedeutungsloser Armgesten wurde von Platz und Mitarbeitern vorgenommen (28). Dabei wurden bedeutungslose

Armbewegungen von 4 linksseitig und 2 rechtsseitig geschädigten Patienten sowie 16 Kontrollpersonen untersucht.

Die Probanden sollten innerhalb eines rechteckigen Rahmens mit derselben Höhe und Breite wie eine dreieckige "Trainingsschablone" mit dem Arm einmalig die Figur eines Dreiecks beschreiben. Dann wurde der Rahmen entfernt, und die Probanden sollten mit geschlossenen Augen die Figur des Dreiecks "in die Luft zeichnen", das dem zuvor dargestellten in Form und Größe entsprechen sollte. Dabei wurden 5 Bewegungsabläufe aufgezeichnet. Danach erfolgte mit geschlossenen Augen ein Bewegungstraining, bei dem eine dreieckige Schablone innerhalb des zuvor beschriebenen Rahmens positioniert wurde. Unmittelbar im Anschluss an das Bewegungstraining erfolgte eine nochmalige Bewegungsaufzeichnung. Einen Tag später wurde den Probanden nochmals die rechteckige Schablone gezeigt. Im Anschluss daran sollten sie mit geschlossenen Augen die Figur des Dreiecks vom Vortag "in die Luft zeichnen". Die Bewegungen wurden nochmals aufgezeichnet.

In der Studie wurde bei linksseitig geschädigten Patienten anhand eines Apraxie-Screening-Tests zwischen ideatorischer und ideomotorischer Apraxie unterschieden (25). Dabei wurden 20 ideomotorische, 10 ideatorische und 10 buko-faziale Apraxie-Kriterien geprüft. Die Testung auf ideomotorische und buko-faziale Apraxie-Kriterien bezog sich auf bedeutungsvolle, bedeutungslose, transitive und intransitive Bewegungen. Buko-faziale und ideomotorische Apraxie wurden gesondert getestet in Bezug auf verbale Aufforderung und Imitation. Die Kriterien für ideatorische Apraxie prüften den Gebrauch von einzelnen und mehreren Objekten.

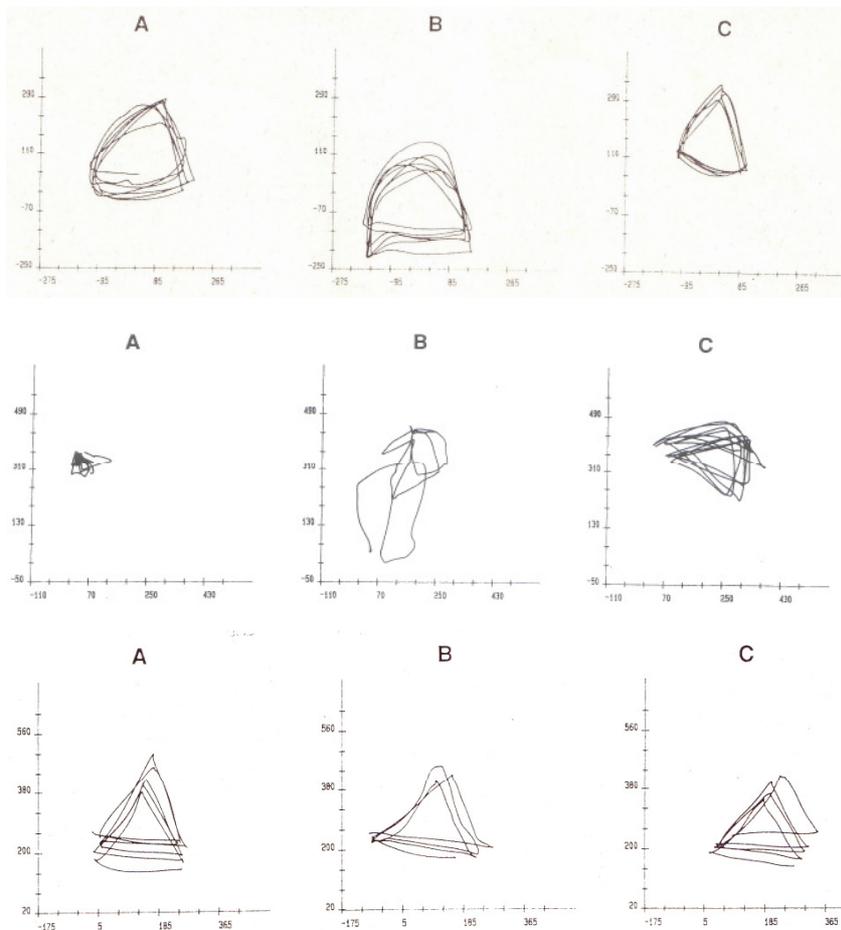
Die Bewegungen wurden dreidimensional mit Infrarotkameras aufgezeichnet (SELSPOT 2). Dazu war eine Diode auf der ulnaren Seite des kleinen Fingers der Probanden angebracht. Es wurden folgende Bewegungsparameter berechnet: Bewegungsdauer, Verzögerungen zwischen einzelnen Bewegungssegmenten an den Eckpunkten der Figur, Bewegungsverzögerungen (Anzahl der Kreuzungen mit der Null-Linie des Beschleunigungsprofils), der Umfang der beschriebenen Dreiecke und ihre Winkel. Die einzelnen Leistungsmaße wurden als abnormal bewertet, wenn sie mehr als 2 Standardabweichungen vom Durchschnitt der 16 gesunden Probanden lagen (z-Werte). Zwei unabhängige Personen bewerteten zusätzlich

die Bewegungen der Probanden anhand einer Skala von 0 - 2 auf die Fragen: Ist das Konzept eines Dreiecks zu erkennen? Gibt es zusätzliche Elemente, die nicht einem Dreieck entsprechen? Sind die einzelnen Segmente gerade und formentsprechend? Die Bewegungen wurden anhand von Originalvorgaben verglichen. Dabei sollten vor allem drei Grundkriterien untersucht werden: Die motorische Planung (sie betrifft die Darstellung der Figur als Ganzes), das motorische Programm (zeitliche und räumliche Merkmale der Figur) und die mögliche Verbesserung nach dem Bewegungstraining.

Patienten mit ideomotorischer Apraxie hatten Schwierigkeiten beim Bewegungsablauf (Abb. 2, oben). Sie zeigten räumliche und zeitliche Unregelmäßigkeiten bei der Darstellung der Figur (erhöhte Anzahl zusätzlicher Bewegungselemente und Bewegungsverzögerungen), konnten sich aber durch das Training verbessern. Die Kriterien der Figur sind insgesamt besser erfasst als die der Patienten mit ideatorischer Apraxie (Abb. 2, Mitte). Dies kann aber auch durch einen geringeren Schädigungsgrad der linken Hirnhälfte bedingt sein.

Patienten mit ideatorischer Apraxie zeigten eine schlechtere Bewegungsplanung (Abb. 2, Mitte). Sie hatten Schwierigkeiten mit der Grundstruktur der Form (Bewegungsparameter aufgrund zusätzlicher irregulärer Bewegungen nicht berechenbar) und das Training half ihnen nicht, sich dabei zu verbessern.

Die rechtseitig geschädigten Patienten hatten möglicherweise Probleme, neue sensomotorische Informationen, die für räumliche Bewegungsaspekte verantwortlich sind, zu verarbeiten, da sie sich durch das Training eher verschlechterten (Abb. 2, unten). Die Kriterien der Figur sind jedoch insgesamt besser erfasst als bei den LBD-Patienten.



**Abbildung 2**

Darstellung eines Dreiecks von einem Patienten mit ideomotorischer Apraxie (oben), ideatorischer Apraxie (Mitte) und rechtshemisphärischer Schädigung (unten) jeweils vor (A) und nach Training (B) und nach einem Tag Pause (C).

(Der Patient mit ideomotorischer Apraxie litt zusätzlich an einer minimalen Hemiparese, einer Broca-Aphasie, sowie buko-fazialer Apraxie. Der Patient mit ideatorischer Apraxie litt außerdem an einer minimalen Hemiparese, einer Wernicke-Aphasie, buko-fazialer Apraxie und Merkmalen ideomotorischer Apraxie. Der Patient mit rechtshemisphärischer Schädigung litt an einer leichten linken Hemiparese und räumlich-konstruktiven Schwächen. Es bestand kein Neglect.

(aus Platz, 28)

Zusammenfassend lässt sich behaupten, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten mehr Veränderungen zeitlicher und räumlicher Bewegungsparameter als rechtseitig geschädigte Patienten aufwiesen. Diese verschlechterten sich zwar durch das Bewegungstraining (möglicherweise durch ein Defizit bei der Bearbeitung neuer sensomotorischer Informationen), die Kriterien der Figur wurden von ihnen aber insgesamt besser dargestellt.

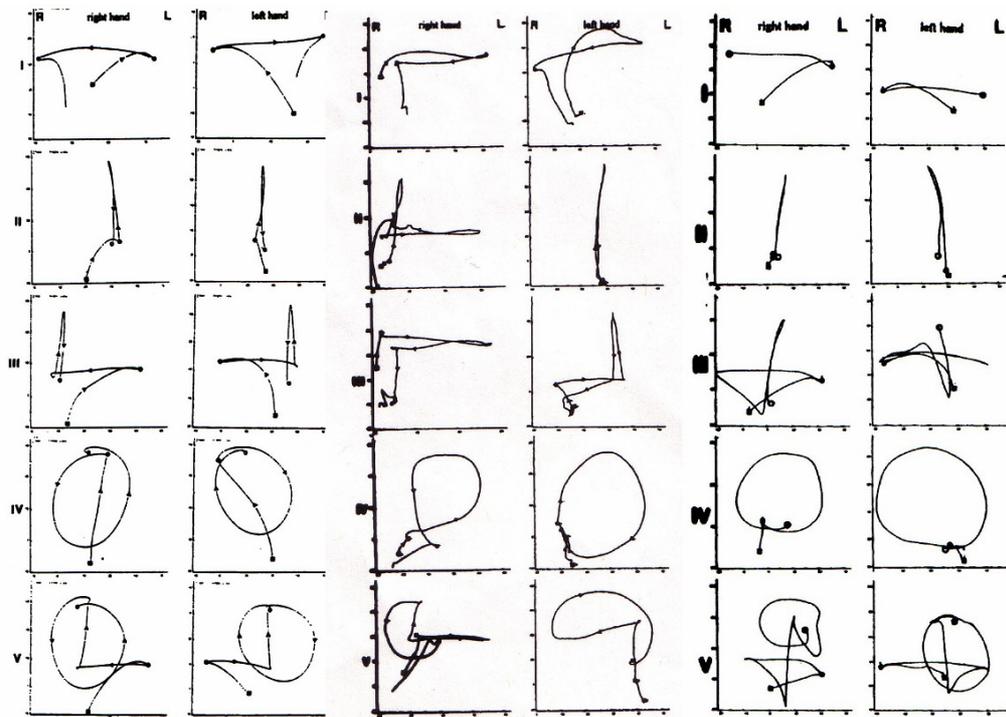
Eine weitere Studie zu Imitation bedeutungsloser Armgesten wurde von Weiss und Mitarbeitern durchgeführt (36). Es wurden acht Patienten mit Läsionen des linken Parietallappens und vier Patienten mit Läsionen des rechten Parietallappens untersucht. Die auszuführenden Armbewegungen bestanden aus einer Kombination von 5 Bewegungssequenzen steigender Komplexität (Abb. 3).

Ein Untersucher saß neben dem Patienten, einer ihm gegenüber. Die Anweisungen wurden verbal gegeben (indem der Untersucher die Instruktionen laut vorlas) und von dem davor sitzenden Untersucher demonstriert (der Patient sollte die Bewegung mit der selben Hand wie der Untersucher imitieren). Die Patienten sollten sich an einem akustischen Signal orientieren und dabei die Bewegungen in der für sie am geeignetsten Geschwindigkeit ausführen. Die Fehler wurden in vier Kategorien eingeteilt: räumliche Fehler (falsche Bewegungsrichtung oder -ebene), zeitliche Fehler (veränderte Bewegungsabfolge der einzelnen Bewegungssequenzen), Hinzufügungsfehler (zusätzlich ausgeführte Bewegungskomponenten, z.B. Perseverationen), Auslassungsfehler (fehlende oder unzureichende Bewegungen). Die zwei Untersucher protokollierten unabhängig voneinander die Anzahl und Art der Fehler. Die Sitzungen wurden per Video aufgezeichnet. Bei einzelnen Patienten wurde eine zweite Messung durchgeführt. Diese erfolgte durch eine dreidimensionale Messung mit einem opto-elektronischen Aufnahmegerät (Selspot 2, Selcom, Schweden).

Patienten mit linksseitigen Läsionen produzierten signifikant mehr räumliche und zeitliche Fehler als rechtsseitig geschädigte und Kontrollen. Räumliche Fehler waren eine falsch ausgeführte Bewegungsrichtung oder die Darstellung in einer anderen Bewegungsebene, zeitliche Fehler eine Veränderung der Bewegungsabfolge, also beispielsweise die Darstellung der Figur "Kreis" vor der Figur "Linie". Es gab keine Unterschiede bei Auslassungs- oder Hinzufügungsfehlern. Die zunehmende Komplexität der Bewegungen hatte einen signifikanten Effekt auf die Fehlerhäufigkeit der linkshemisphärisch geschädigten Patienten (vgl. Aufgabe V, Abb. 5, LD-Patient). In allen Gruppen

gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der ipsi - und der kontralateralen Hand.

Daraus folgert Weiss, dass Läsionen im linken Parietallappen zu einer gestörten zeitlich-räumlichen Bewegungsfolge führen, die durch steigende Komplexität deutlich zunimmt.



**Abbildung 3**

Armbewegungen einer gesunden Kontrollperson (links)

Armbewegungen eines Patienten mit linkshemisphärischer Schädigung. (Mitte)

Armbewegungen eines Patienten mit rechtshemisphärischer Schädigung (rechts)

Die Bewegungen sind je mit der linken und rechten Hand ausgeführt. Die Bewegungsrichtung ist anhand der Pfeile dargestellt. Von oben nach unten sind die Bewegungen in steigender Komplexität abgebildet: 1. horizontale Linie, 2. vertikale Linie, 3. eine horizontale und eine vertikale Linie, 4. Kreis, 5. eine horizontale und eine vertikale Linie, ein Kreis .

(aus Weiss, 36)

Zusammenfassend produzierten linkshemisphärisch geschädigte Patienten eine höhere Anzahl zeitlicher und räumlicher Fehler als rechtsseitig geschädigte Patienten und gesunde Kontrollpersonen. Die Anzahl der Fehler nahm bei den LBD-Patienten durch steigende Komplexität zu.

## 1.4. Studien zu Bewegungskinetik bei Apraxie

*Clark et al, 1994*

In einer Studie untersuchten Clark und Mitarbeiter "Brotschneidebewegungen" vier unterschiedlicher Kategorien: Nach mündlicher Aufforderung, mit dem Objekt (Brot), mit dem Werkzeug (Messer) und mit dem Objekt und dem Werkzeug (3). Dabei zeigten linkshemisphärisch geschädigte Probanden Störungen in der räumlichen Bewegungsplanung in allen vier Kategorien. Die Untersuchung wurde mit Infrarot-Kameras dreidimensional aufgezeichnet.

*Poizner et al., 1990, 1998*

Poizner und Mitarbeiter untersuchten in einer ähnlichen Studie "Schneidebewegungen" an linksseitig geschädigten Patienten mit der Infrarottechnik (33). Es zeigte sich eine eingeschränkte Verbindung zwischen räumlichen und zeitlichen Bewegungsaspekten und eine schlechte Koordination der einzelnen Gelenke zueinander. Auch hier ließ sich auf eine schlechtere Bewegungsplanung linkshemisphärischer gegenüber rechtshemisphärischer geschädigter Patienten schließen.

Eine der ersten dreidimensionalen Computeraufzeichnungen von Armbewegungen erfolgte 1990 in einer Untersuchung von Poizner und Mitarbeitern (32). Die Intention war, eine größere Objektivität der Messungen zu erreichen. Auch hier erfolgte die Aufzeichnung der Daten über Infrarotkameras. Untersucht wurde die Pantomime des Objektgebrauchs von vier verschiedenen Bewegungen. Aufgrund der großen Datenfülle wurden nur zwei apraktische Patienten untersucht. Diese begingen hauptsächlich räumliche und zeitliche Fehler sowie Fehler bei den räumlich-zeitlichen Verhältnissen der Bewegungen.

Eine computergestützte dreidimensionale Bewegungsaufzeichnung mittels einer speziellen Ultraschalltechnik wurde 1994 in einer Studie von Hermsdörfer und Mitarbeitern verwendet (22). Das Messverfahren wurde auch in vorliegender Arbeit verwendet (s. Kap. 2.5. Bewegungsanalyse).

Bei der Studie wurden 20 links- und 8 rechtsseitig geschädigte Patienten, sowie 28 gesunde Kontrollpersonen untersucht. Die Probanden sollten bedeutungslose Handgesten imitieren; die Geste wurde durch einen frontal gegenüberstehenden Untersucher spiegelbildlich vorgeführt. Die Geste wurde von zwei unabhängigen Untersuchern bewertet. Die Handbewegungen wurden während der Imitation der Gesten computergesteuert gemessen.

Es zeigte sich, dass es vor allem linksseitig geschädigten Patienten oft nicht gelang, die Endstellungen der Geste zu erreichen. Außerdem wiesen sie auch am meisten Bewegungsänderungen während der Imitation auf (Veränderungen der Bewegungsrichtung). Es gab aber keine Beziehung zwischen den Bewegungsänderungen und apraktischen Fehlern (Nicht-Erreichen der Endstellung der Geste). (Bei Bewegungsänderungen während der Imitation wurde dennoch eine adäquate Endstellung der Geste erreicht, während dies bei unauffälligem Bewegungsverlauf teilweise nicht der Fall war.).

Das ließ zwei mögliche Schlüsse zu: entweder die apraktischen Fehler und die Bewegungsänderungen beruhen auf zwei unabhängigen Repräsentationen, die beide von der Schädigung betroffen sind. Dies müsste zu zwei Lokalisationen der Schädigung führen, was aber durch die Auswertung der cCT widerlegt wurde. Die andere Erklärung dafür wäre, dass die Schädigung nur die "mentale Repräsentation" der Zielposition (Geste) betrifft, die bei manchen Patienten zu einer "Bewegungsunsicherheit" führt. Andere könnten bei Erreichen der Endstellung der Geste noch einzelne Bewegungskorrekturen durchführen, um die exakte Zielposition zu erreichen. Schließlich könnte es Patienten geben, die sich nicht bewusst sind über die "mentale Repräsentation" der Geste, weil sie diese nicht besitzen und so eine relativ normale Bewegung ausführen, die jedoch zur Darstellung einer anderen Geste führt.

## 1.5. Eigene Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit soll die Imitation bedeutungsloser Armgesten bei rechts - und linksseitig geschädigten Patienten untersucht werden. Es werden räumliche und zeitliche Aspekte betrachtet. Dabei soll auf folgende Fragen eingegangen werden:

Bisherige Studien haben gezeigt, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten Probleme bei der räumlichen Darstellung von Gesten haben. In Studien von Goldenberg und Mitarbeitern wird dies für Handgesten belegt (10, 11, 12, 13), in Studien von Platz und Mitarbeitern und Weiss und Mitarbeitern für Armgesten (28, 36).

Es wird deshalb vermutet, dass auch die in dieser Studie untersuchten Patienten Schwierigkeiten bei der räumlichen Darstellung von kontinuierlichen (repetitiven) Armgesten haben.

Bisher wurden vor allem räumliche Bewegungsaspekte untersucht. Doch spielen auch zeitliche Faktoren eine Rolle, um eine Bewegung zu imitieren. In einer Studie von Weiss und Mitarbeitern zeigte sich, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten auch mehr Veränderungen der Leistungsmaße bei der Bewegungsabfolge bedeutungsloser Armgesten begingen (36). In einer Studie von Platz und Mitarbeitern zeigten linkshemisphärisch geschädigte Patienten mehr zeitliche Veränderungen, indem sie eine zu geringe oder zu lange Bewegungsdauer der einzelnen Bewegungssegmente aufwiesen (28).

Es wird angenommen, dass dies auch für kontinuierliche Armgesten gilt, dass es sich aber nicht nur um spezifische zeitliche Veränderungen handelt, sondern auch um globale zeitliche Veränderungen wie eine generelle Veränderung der Bewegungsfrequenz.

Um festzustellen, ob ein Zusammenhang zwischen Veränderungen der Leistungsmaße besteht, insbesondere bei räumlichen und zeitlichen Parametern, sollen diese miteinander korreliert werden.

Es besteht die Annahme, dass es linkshemisphärisch geschädigten Patienten nicht möglich ist, sich auf die korrekte räumliche und zeitliche Ausführung gleichzeitig zu konzentrieren.

Ferner soll untersucht werden, ob die Parameter, die bei der Imitation der bedeutungslosen kontinuierlichen Armgesten Veränderungen aufwiesen, mit Apraxie korrelieren. Dazu werden diese mit einem Apraxie-Score bei Imitation verglichen. Da bekannt ist, dass linksseitig geschädigte Patienten Schwierigkeiten bei der Pantomime des Objektgebrauchs haben, soll auch untersucht werden ob Fehler bei der Imitation von Armgesten mit einem Apraxie-Score bei Pantomime korrelieren.

Es wird angenommen, dass ein Zusammenhang zwischen räumlichen und zeitlichen veränderten Parametern bei der Imitation der Armbewegungen zu Apraxie besteht.

In Studien von Goldenberg wurden bedeutungslose Handgesten untersucht (10,11,12). Dabei zeigte sich, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten Schwierigkeiten bei der Imitation von Handgesten haben. Außerdem konnte in einer weiteren Studie gezeigt werden, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten mehr Schwierigkeiten bei der Imitation von Handgesten als bei der Imitation von Fingergesten aufweisen (13).

Um eine Handgeste auszuführen, muss die Hand mehr in Bezug zum eigenen Körper gebracht werden, als dies für eine Arm - oder eine Fingergeste erforderlich ist. Die Darstellung erfolgt im Raum und eher unabhängig zum eigenen Körper. Goldenberg geht davon aus, dass für die Ausführung einer Handgeste ein allgemeines Verständnis über die Wahrnehmung des eigenen Körpers vorliegen muss (7, 12), das bei linkshemisphärisch geschädigten Patienten gestört ist.

Es wird vermutet, dass Armgesten ohne Relation zu spezifischen Körperteilen und Körperpositionen deshalb besser imitiert werden als Handgesten mit derartigen Relationen.

In einer Studie von Weiss und Mitarbeitern wurden diskrete (nicht repetitive) Armgesten und in einer Studie von Platz und Mitarbeitern kontinuierliche

Armgesten untersucht (36, 28). In beiden Studien wiesen linkshemisphärisch geschädigte Patienten mehr Veränderungen von räumlichen und zeitlichen Parametern auf.

In der Studie von Weiss und Mitarbeitern (36) erfolgte die Anweisung durch verbale Instruktion oder Vorführung der Geste, aber nicht in wiederholter Darstellung. Auch die Imitation der Gesten beschränkte sich auf einen Durchlauf.

In der Studie von Platz (28) wurden die Bewegungen entweder anhand einer Schablone vorgegeben, durch sprachliche Anweisung oder durch Vorführung. Dabei wurden sie aber nicht wiederholt vorgeführt, der Proband sollte die Bewegungen jedoch wiederholt ausführen.

Es wird angenommen, dass die Imitation kontinuierlicher Armbewegungen durch eine kontinuierliche Darstellung der Gesten einfacher auszuführen ist.

In Studien zum Objektgebrauch zeigte sich, dass linksseitig geschädigte Patienten zwar wissen, wie man ein Werkzeug benutzen muss und den Gegenstand auch erkennen, aber trotz erhaltener motorischer Funktion nicht in der Lage sind, die erforderlichen Bewegungen auszuführen (14).

Es soll die Wahrnehmungsebene der Patienten untersucht werden.

Dabei wird vermutet, dass die Patienten in vorliegender Studie die auszuführenden Bewegungen bei der Demonstration erkannt haben, und Schwierigkeiten bei der Imitation somit nicht einer mangelnden Erkennung der Armbewegungen zuzuschreiben sind.

Bekannt ist, dass Probleme von linkshemisphärisch geschädigten Patienten bei der Imitation von Gesten, nicht auf motorischen Defiziten beruhen, sondern eher aufgrund der mangelnden Fähigkeit, ein Bewegungskonzept zu erstellen, bedingt sind (7, 10, 11, 12, 13).

Es ist anzunehmen, dass auch die in dieser Studie untersuchten Patienten Schwierigkeiten mit der Erstellung eines Bewegungskonzeptes aufweisen, und deshalb für die Imitation der Armgesten einen "Umweg" über die Bedeutung der Figuren im semantischen Gedächtnis wählen.

In vorliegender Studie sollten die Probanden die Armbewegungen in spiegelbildlicher Drehrichtung ausführen.

Es wird vermutet, dass eine fehlerhafte Drehrichtungen bei linkshemisphärisch geschädigten Patienten durch die mangelnde Fähigkeit, ein Bewegungskonzept zu erstellen, begründet ist.

In Studien zeigte sich, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten Defizite bei Zielbewegungen mit der ipsilateralen Hand aufwiesen (23).

Es wird vermutet, dass dies auch für die in dieser Studie untersuchten Patienten zutrifft.

Um festzustellen, ob Defizite bei Zielbewegungen mit Apraxie zusammenhängen, sollen diese mit dem Apraxie-Score für Imitation korreliert werden.

Es wird vermutet, dass wie auch in zuvor durchgeführten Studien keine Zusammenhänge zu Apraxie-Kriterien bestehen (23).

## **2. MATERIAL UND METHODEN**

### **2.1. Überblick**

Die Untersuchungen fanden während des stationären Aufenthaltes der Patienten im Sommer 2003 und Winter 2004 im Krankenhaus München Bogenhausen statt.

Es wurden kontinuierliche Armbewegungen von elf Patienten mit linkshemisphärischen und von zehn mit rechtshemisphärischen Schädigungen, sowie eine Kontrollgruppe mit je 10 linkshändig und 10 rechtshändig getesteten Probanden untersucht.

Den Patienten wurde auf einer Leinwand ein Video gezeigt. Darauf zeichnete der Untersucher in Originalgröße Figuren vor seinem Körper "in die Luft." Dabei wurde jede Figur mehrfach vorgeführt. Die Figuren unterschieden sich in Komplexität und Geschwindigkeit.

Die Patienten sollten die Bewegungen jeweils nach Beendigung der Vorführung einer Figur mit ihrer nicht-paretischen Hand imitieren.

Durch die Art der Untersuchung wurde gewährleistet, dass die Patienten dem "Untersucher" gegenüber sitzen und die Bewegungen spiegelbildlich imitieren konnten. Dies hat sich bei der Untersuchung von Bewegungen als die beste Methode erwiesen (10, 11, 12, 13).

Im Anschluss wurden den Patienten nochmals die Figuren vorgeführt. Aus vier unterschiedlichen Figuren, die auf einem Blatt Papier aufgemalt waren, sollten sie die vorgeführte Figur erkennen. So konnte überprüft werden, ob die Probanden die zu imitierenden Figuren erkannten.

Außerdem wurden Zielbewegungen auf ein großes und ein kleines Ziel untersucht. Die Patienten hatten dabei die Anweisung, die Aufgabe so schnell wie möglich auszuführen

Alle Bewegungen wurden durch ein akustisches Ultraschall-System aufgezeichnet.

## **2.2. Versuchspersonen**

Für diese Arbeit wurden insgesamt 21 Patienten mit erworbenen Hirnschädigungen (größtenteils ischämische und hämorrhagische Insulte) sowie 20 Kontrollpersonen untersucht. Die Patienten wurden anhand von radiologischer Bildgebung und Voruntersuchungen ausgewählt. 11 Patienten wiesen linkshemisphärische, 10 wiesen rechtshemisphärische Hirnschädigungen auf.

Die Patientenauswahl erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Die Hirnschädigung durfte nur auf einer Hemisphäre lokalisiert sein.
- Eine Parese der Gliedmaßen durfte sich nur auf die kontralaterale Seite zur Schädigung beschränken.
- Die Patienten mit linksseitigen Schädigungen sollten apraktische Auffälligkeiten und eine Aphasie aufweisen.
- Die rechtsseitig geschädigten Patienten sollten zu den linksseitig geschädigten vergleichbare Läsionen aufweisen.
- Die rechtsseitig geschädigten Patienten sollten einen Neglect oder einen Gesichtsfeldausfall oder allgemeine räumliche Störungen aufweisen

## ***Linkshemisphärische geschädigte Patienten (LH-Patienten)***

(Tab. 1)

### *Alter, Geschlechterverteilung und Händigkeit*

Unter den 11 Patienten befanden sich 6 Männer und 5 Frauen. Das Alter lag zwischen 25 und 78 Jahren, im Mittel betrug es 51,8 Jahre (Tab. 1).

Die Händigkeit wurde anhand eines Fragebogens von Salamaso und Longoni festgestellt (29). Alle der 11 Patienten waren Rechtshänder (LQ im Mittel: 99,09).

### *Ätiologie, Lokalisation und Zeitpunkt der Hirnschädigungen*

Die Hirnschädigungen der Patienten betrafen ausschließlich die linke Hemisphäre (frontal, parietal, temporal, okzipital). Bei 8 Patienten war die Ursache der Schädigung ein ischämischer, bei zweien ein hämorrhagischer Insult und bei einem ein Schädel-Hirn-Trauma. Letzterer wies eine fronto-parieto-okzipitale Läsion und ebenso Apraxie-Kriterien auf.

Für die Beschreibung der Lokalisation der Läsionen wurden standardisierte Templates verwendet. Hiermit werden die Gewebsschädigungen anhand des cCT- bzw. MRT-Bildes mit einem standardisierten Raster nach Zugehörigkeit zu den Gehirnlappen (Frontal, Temporal, Parietal und Occipital) eingeteilt (4).

Der Zeitraum zwischen der Hirnschädigung und der Untersuchung betrug bei 10 der Patienten zwischen 2 und 9,5 Monaten, im Mittel 4 Monate, ein Patient wurde 5 Jahre und 4 Monate nach der Läsion untersucht, wies aber noch die erforderlichen Apraxie-Kriterien auf..

### *Sprachliche Leistungen*

Alle Patienten hatten eine Aphasie, wobei es sich bei 6 Patienten um eine globale Aphasie handelte. Die anderen Patienten litten an einer Wernicke-Aphasie, einer Broca-Aphasie, einer amnestischen Aphasie, einer transkortikalen Aphasie und einer nicht klassifizierbaren Aphasie.

### *Neglect und Gesichtsfeldausfall*

2 Patienten litten an einem Neglect (visueller Hemineglect rechts und multimodaler Hemineglect rechts), 4 Patienten an einem Gesichtsfeldausfall (homonyme Hemianopsie rechts).

### *Apraxie*

Der Schweregrad der Diagnose Apraxie wurde anhand eines Apraxie-Scores bewertet. Dabei wurden die Patienten in Bezug auf Pantomime oder Imitation untersucht.

Die Apraxie-Testung für Pantomime umfasst 12 pantomimische Aufgaben (z.B. "aus einem Glas trinken"), die mit freier Hand, mit einem Holzobjekt und dem realen Objekt ausgeführt werden sollen. Um den Score zu ermitteln, werden den Patienten Fotos vorgelegt, die sie pantomimisch darstellen sollen. Auf die Darstellung werden anhand von Bewegungsmerkmalen, die eine Pantomime erkennbar machen, jeweils 0 - 3 Punkte verteilt. Die Summe aller Punkte ergibt den Gesamtscore. Die Aufgaben werden anhand von Videoaufnahmen mit einem Bewertungsbogen beurteilt (14). Somit bedeutet das Erreichen von 0 Punkten "stark apraktisch", während mehr als 30 Punkte als nicht apraktisch zu werten sind. Der Score wurde für die Patienten L2, L3, L4, L6, L9, L10, L11 ermittelt.

Die Apraxie-Testung für Imitation (12) umfasst die Imitation von 10 bedeutungslosen Handgesten (Abb. 1). Diese werden vom Untersucher vorgeführt, Die Patienten sollen die Gesten im Anschluss spiegelbildlich

imitieren. Die korrekte Ausführung der Imitation wird mit zwei Punkten bewertet. Erfolgt diese nicht, wird die Geste nochmals vorgeführt, ein zweiter Imitationsversuch wird mit einem Punkt bewertet, bei einem weiteren Fehler erhält der Proband 0 Punkte. Insgesamt gibt es 20 Punkte, wobei eine Punktzahl von 20 "nicht apraktisch" und eine Punktzahl von 0 Punkten "stark apraktisch" bedeutet.

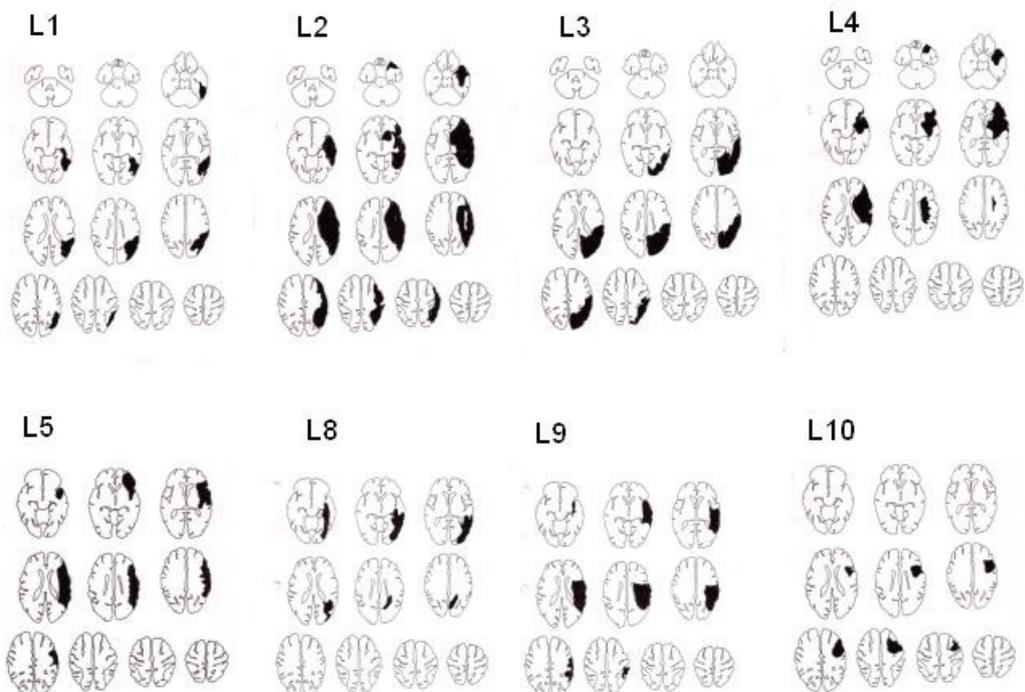
**Tabelle 1a: Klinische Daten der LH-Patienten**

Patient	Alter	Geschlecht	Ätiologie	Lokalisation	Händigkeit	Monate Läsion-Testung
L 1	40	M	Trauma	F,P,O	R (LQ100)	4
L 2	35	M	Ischämie	F,T,P	R (LQ 90)	9,5
L 3	31	W	Ischämie	T,P,O	R (LQ+100)	3
L 4	54	M	Ischämie	F,T,P	R (LQ+100)	2,5
L 5	54	M	Ischämie	F,T	R (LQ+100)	64
L 6	51	M	Ischämie	F,T,O	R (LQ+100)	2
L 7	70	W	Ischämie	F,T,P	R (LQ+100)	5,5
L 8	55	W	Blutung	T,P,O	R (LQ+100)	5
L 9	25	W	Ischämie	T,P	R (LQ+100)	2
L10	78	W	Blutung	F,T,P	R (LQ+100)	3
L11	77	M	Ischämie	F,T,P	R (LQ+100)	4

**Tabelle 1b: Klinische Daten der LH-Patienten**

Patient	Monate Läsion- Testung	Aphasie Klassifikation (AAT)	Apraxie- Imitation- Score	Neglect	Gesichtsfeld- ausfall
L 1	4	Wernicke Aphasie	11	/	HHR
L 2	9,5	Globale Aphasie	15	/	HHR
L 3	3	n.kl. Aphasie	15	/	HHR
L 4	2,5	globale Aphasie	16	/	/
L 5	64	globale Aphasie	19	/	/
L 6	2	globale Aphasie	15	/	/
L 7	5,5	Transkort. -sensor. Aphasie	1	/	/
L 8	5	Amnest. Aphasie	11	VHNR	HHR
L 9	2	Broca Aphasie	16	/	/
L10	3	Globale Aphasie	17	/	/
L11	4	globale Aphasie	10	MHNR	/

HHR: Homonyme Hemianopsie rechts, VHNR: Visueller Hemineglect rechts, MHNR: Multimodaler Hemineglect rechts



**Abb. 4**

Lokalisationen der Hirnschädigungen der LBD-Patienten

(Abbildung der Lokalisationen von L6, L7, L11 nicht vorhanden)

## ***Rechtshemisphärisch geschädigte Patienten (RH-Patienten)***

(Tab. 2)

### *Alter, Geschlechterverteilung und Händigkeit*

Unter den 10 Patienten befanden sich 5 Männer und 5 Frauen. Das Alter lag zwischen 37 und 60 Jahren, im Mittel betrug es 47,9 Jahre.

Zwei der 10 Patienten waren Linkshänder (R1: LQ -70, R8: LQ -100), alle anderen Rechtshänder (RQ im Mittel: 98,75).

### *Ätiologie, Lokalisation und Zeitpunkt der Hirnschädigungen*

Die Hirnschädigungen betrafen ausschließlich die rechte Hirnhälfte. Bei 6 Patienten lag der Schädigung ein ischämischer Insult zugrunde, bei dreien eine Blutung und bei einem Patienten ein Angiom (operative Entfernung mit resultierender rechtsseitiger Schädigung).

Der Zeitraum zwischen Schädigung und Untersuchung betrug zwischen 1,5 und 11,5 Monate, im Durchschnitt 5 Monate.

### *Sprachliche Leistungen*

Keiner der Patienten hatte eine Aphasie.

### *Neglect und Gesichtsfeldausfall*

7 Patienten hatten einen Neglect , 3 Patienten einen Gesichtsfeldausfall.

## Apraxie

Keiner der 10 Patienten war apraktisch

**Tabelle 2a: Klinische Daten der RH-Patienten**

Patient	Alter	Geschlecht	Ätiologie	Lokalisation	Händigkeit
R 1	37	W	Ischämie	T,P	L (LQ-70)
R 2	44	M	Blutung	T,P	R (LQ+100)
R 3	49	M	Ischämie	F,T,P,O	R (LQ+100)
R 4	56	M	Blutung	P,O	R (LQ 90)
R 5	57	M	Ischämie	T,P,O	R (LQ+100)
R 6	42	W	Blutung	F	R (LQ+100)
R 7	37	W	Angiom	P,O	R (LQ+100)
R 8	60	W	Ischämie	keine Angabe	L (LQ-100)
R 9	48	W	Ischämie	T,P	R (LQ+100)
R10	49		Ischämie	F,T	R (LQ+100)

**Tabelle 2b: Klinische Daten der RH-Patienten**

Patient	Monate Läsion- Testung	Aphasie Klassifikation (AAT)	Apraxie- Imitation	Neglect	Gesichtsfeld- ausfall
R 1	7	keine Aphasie	keine Apraxie	N. n.kl.	HHL
R 2	2	keine Aphasie	keine Apraxie	RN	/
R 3	9	keine Aphasie	keine Apraxie	MMHL	/
R 4	1,5	keine Aphasie	keine Apraxie	VHNL	**
R 5	2	keine Aphasie	keine Apraxie	RN	/
R 6	6	keine Aphasie	keine Apraxie	*	*
R 7	5	keine Aphasie	keine Apraxie	/	HHL
R 8	3	keine Aphasie	keine Apraxie	MHNL	/
R 9	11,5	keine Aphasie	keine Apraxie	RN	/
R10	3,5	keine Aphasie	keine Apraxie	MHNL	HHAL

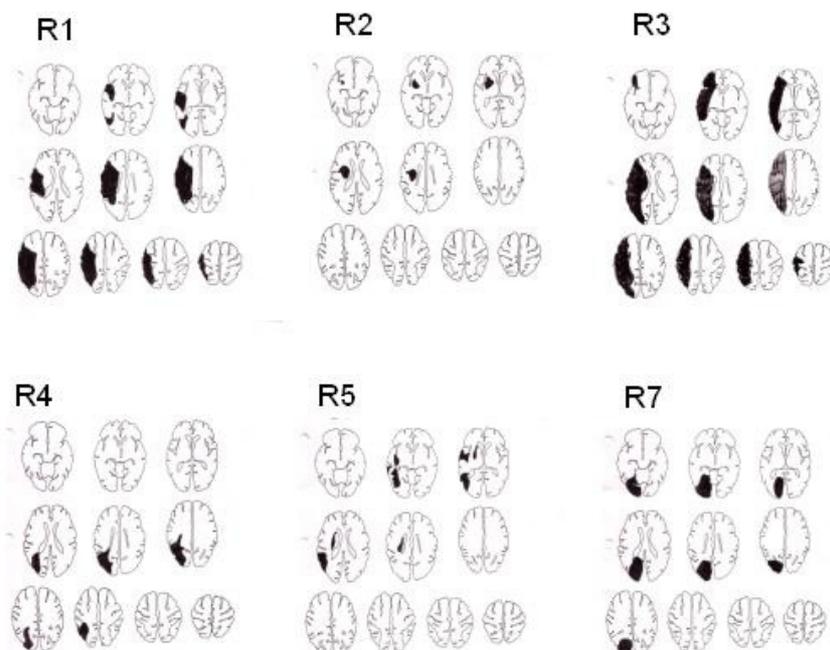
RN: Restneglect, MHNL Multimodaler Hemineglect links,

VHNL Visueller Hemineglect links, N. n.kl.: Neglect nicht klassifiziert,

HHL Homonyme Hemianopsie links, HHAL: Homonyme Hemiamblyopie links,

\*: deutlich eingeschränkte visuell-räumliche und räumlich-konstruktive Leistungen,

\*\*: relativer Gesichtsfelddefekt links



**Abb. 5**

Lokalisationen der Hirnschädigungen der RBD-Patienten

(Abbildungen der Lokalisationen von R6, R8, R9,R10 nicht vorhanden)

### *Kontrollen (CL, CR)*

Insgesamt wurden 20 gesunde Kontrollpersonen untersucht. Davon bei 10 Armbewegungen der rechten und bei 10 Armbewegungen der linken Hand. Alle Kontrollpersonen waren Rechtshänder.

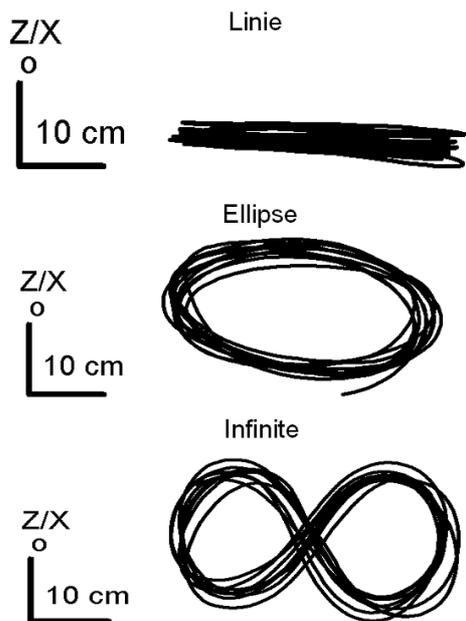
Unter den Probanden, bei denen die linke Hand untersucht wurde (CL), waren 4 Frauen und 6 Männer. Das Alter lag zwischen 29 und 64 Jahren, im Mittel betrug es 56,5 Jahre.

Unter den Probanden, bei denen die rechte Hand untersucht wurde (CR), waren 5 Frauen und 5 Männer. Das Alter lag zwischen 26 und 69 Jahren, im Mittel betrug es 54,5 Jahre.

## **2.3. Versuchsdurchführung**

### *Imitation der Armbewegungen*

Die Patienten sollten sich wiederholende Armbewegungen drei verschiedener Bewegungsformen unterschiedlicher Komplexität imitieren. Bei den Bewegungsformen handelte es sich um eine horizontale Linie, eine Ellipse und eine "liegende Acht" (Infinite) (Abb. 6).



**Abbildung 6**

Graphische Darstellung der zu imitierenden Figuren

(Die Figuren sind nach Aufzeichnung der Bewegungsanalyse des Untersuchers in einem zweidimensionalen Koordinatensystem dargestellt.)

Die Breite der vorgegebenen Figuren betrug 40 cm, die Höhe der Ellipse und des Infinite-Zeichens betragen 20 cm.

Die Figuren wurden schnell und langsam vorgeführt. Bei schneller Geschwindigkeit wurde eine Frequenz von 1,0 Hz vorgegeben, um die Figur einmal zu beschreiben, bei langsamer Geschwindigkeit eine Frequenz von 0,5 Hz. Das bedeutet, dass ein Zyklus von rechts nach links innerhalb von 2 sec. (bei 0,5 Hz), bzw. 1 sec. (bei 1 Hz) erfolgen muss..

Jede der drei Figuren sollte insgesamt dreimal langsam und dreimal schnell wiederholt werden. Daraus ergaben sich insgesamt 18 Armbewegungen. Die Durchgänge wurden in drei Blöcke aufgeteilt; die Reihenfolge erfolgte zufällig für Geschwindigkeit und Komplexität.

**Tabelle 3: Aufteilung der Armbewegungen**

<b>Block 1</b>	<b>Block 2</b>	<b>Block 3</b>
Linie 0,5 Hz	Ellipse 1,0 Hz	Infinite 1,0 Hz
Ellipse 1,0 Hz	Infinite 0,5 Hz	Linie 0,5 Hz
Linie 1,0 Hz	Ellipse 0,5 Hz	Linie 1,0 Hz
Infinite 0,5 Hz	Linie 1,0 Hz	Ellipse 1,0 Hz
Ellipse 0,5 Hz	Infinite 1,0 Hz	Ellipse 0,5 Hz
Infinite 1,0 Hz	Linie 0,5 Hz	Infinite 0,5 Hz

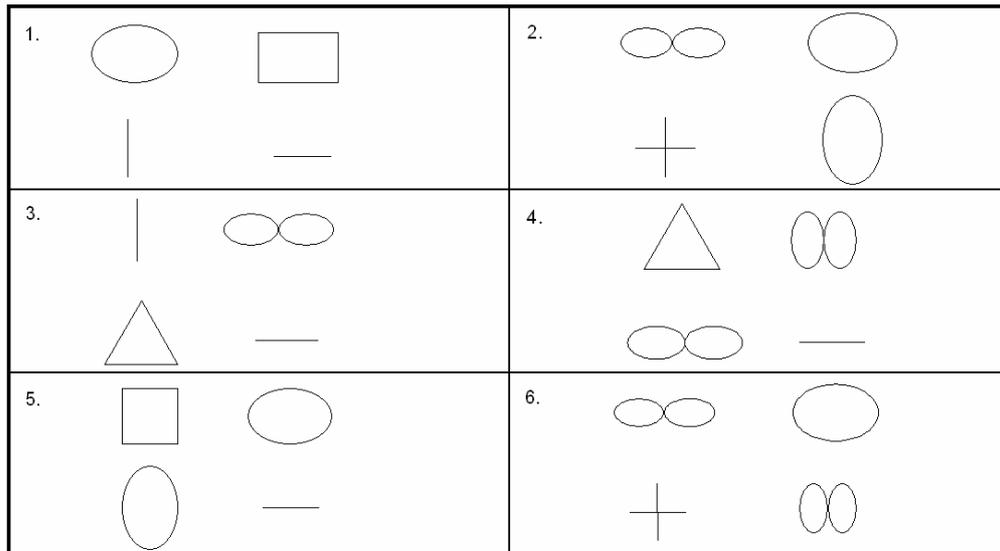
Die Probanden durften erst nach Beendigung der Vorführung jeder einzelnen Figur beginnen, die Bewegungen zu imitieren.

### *Bewegungsrichtung*

Die Patienten hatten die Anweisung, die Bewegungen spiegelbildlich mit der nicht-paretischen Hand auszuführen. Bei den LH-Patienten führte der "Untersucher" die Bewegungen mit der rechten Hand vor, so dass die Patienten die Bewegungen mit der linken Hand imitierten. Bei den RH-Patienten stellte der "Untersucher" die Bewegungen mit der linken Hand dar, so dass die Patienten die Bewegungen mit der rechten Hand ausführten.

### *Wahrnehmungstest*

Im Anschluss wurde den Patienten noch einmal jede Bewegung aus Block 1 einzeln vorgeführt. Sie sollten aus vier verschiedenen angegebenen Figuren die vorgeführte erkennen. Dabei handelte es sich um eine ähnliche, bei der Linie zum Beispiel eine vertikale Linie, und zwei gänzlich verschiedene Figuren, z.B. Quadrat und Kreis (s. Abb. 7).



**Abbildung 7**

Wahrnehmungstest

(1. Linie 0,5 Hz, 2. Ellipse 1,0 Hz, 3. Linie 1,0 Hz, 4. Infinite 0,5 Hz, 5. Ellipse 0,5 Hz, 6. Infinite 1,0 Hz)

### *Zielbewegungen*

Die Probanden sollten mit dem Zeigefinger so schnell wie möglich zwei Zielscheiben berühren. Dabei sollte jede 10 mal von vorne getroffen werden. Die beiden Scheiben waren je zwei, bzw. fünf Zentimeter groß und auf einem Brett auf einem dünnen Metallstab im Abstand von 30 Zentimetern befestigt. Für die beiden größeren Scheiben und für die beiden kleineren Scheiben gab es insgesamt je zwei Durchgänge. Die Patienten sollten die Zielbewegungen an den großen und an den kleinen Zielscheiben einmal vorher trainieren.

## **2.4. Versuchsaufbau**

Die Bewegungen wurden vom Untersucher vorgeführt. Um immer die genau gleiche räumliche und zeitliche Darstellung zu gewährleisten, wurden die Bewegungen des Untersuchers vorher auf Video aufgenommen und den

Probanden in 1:1 Format spiegelbildlich auf einer Video-Leinwand präsentiert. Hierzu wurde ein Video-Beamer verwendet, von dem die Darstellung auf die Rückseite einer durchsichtigen Leinwand projiziert wurde. Die Video-Leinwand befand sich direkt vor den Probanden. Sie saßen also dem Untersucher quasi direkt gegenüber (Abb. 8).



**Abbildung 8**  
Untersuchungsaufbau

In Abbildung 8 ist die Leinwand zu sehen, auf der der "Untersucher" dem Patienten die Bewegungen vorführt. Der Patient sitzt direkt vor der Leinwand, quasi dem "Untersucher" gegenüber und kann die Bewegungen nach der Vorführung spiegelbildlich imitieren. Am linken Arm des Probanden sind die Messmarker zu erkennen, die Ultraschallimpulse aussenden. Auf dem Monitor sieht man die computergestützte dreidimensionale Bewegungsaufzeichnung.

## 2.5. Bewegungsanalyse

Die Armgesten und die Zielbewegungen wurden mit einem akustischen Ultraschall-System der Baureihe CMS der Firma Zebris aufgezeichnet. Dazu wurde ein kleiner, leichter zylindrischer Marker (Durchmesser 10 mm, Höhe 8 mm, Gewicht ca. 5 g) auf die Hand geklebt (Abb 9).



**Abbildung 9**

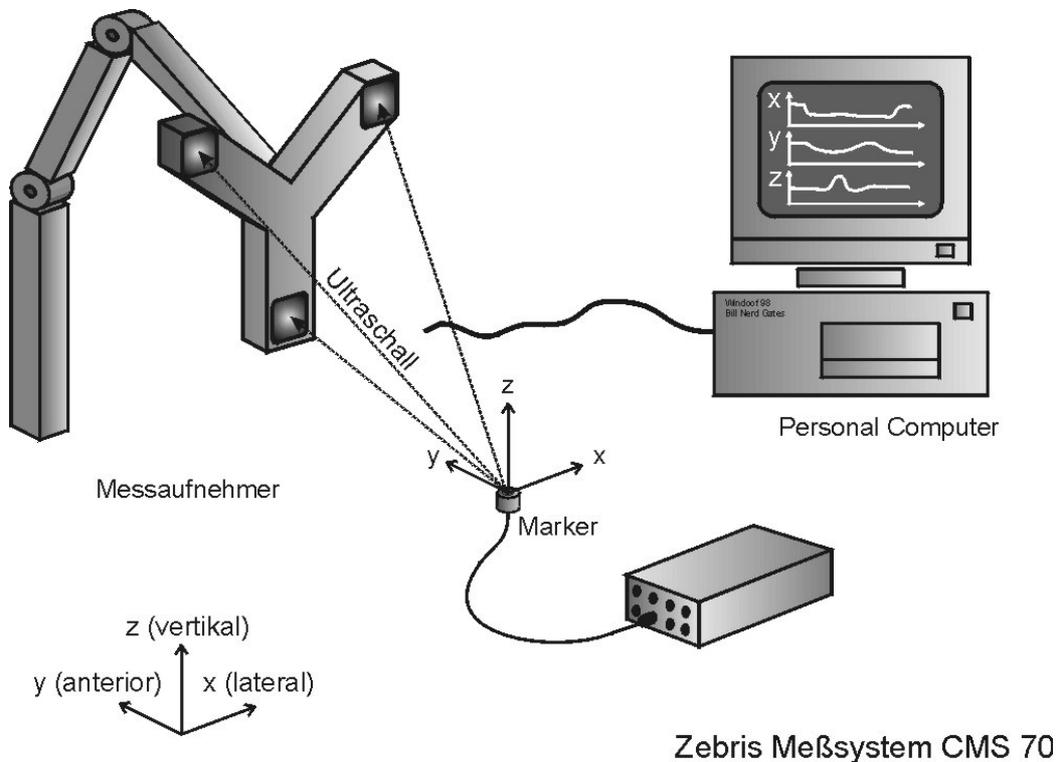
Messgerät der Firma Zebris

Ein Marker (Pfeil) ist auf dem Handgelenk eines Probanden angebracht

Bei den Armbewegungen befand sich dieser auf dem Metacarpo-Phalangeal-Gelenk des Zeigefingers, bei den Zielbewegungen in Höhe des proximalen Interphalangealgelenks des Zeigefingers. Zwei weitere Marker waren als Kontrollen auf der linken und auf der rechten Seite des dorsalen Handgelenks angebracht.

Die Marker senden kurze Ultraschallimpulse aus, die von drei Mikrofonen empfangen werden. Aus der bekannten Schallgeschwindigkeit und den mit der Messelektronik registrierten Laufzeiten von einem Marker zu den drei

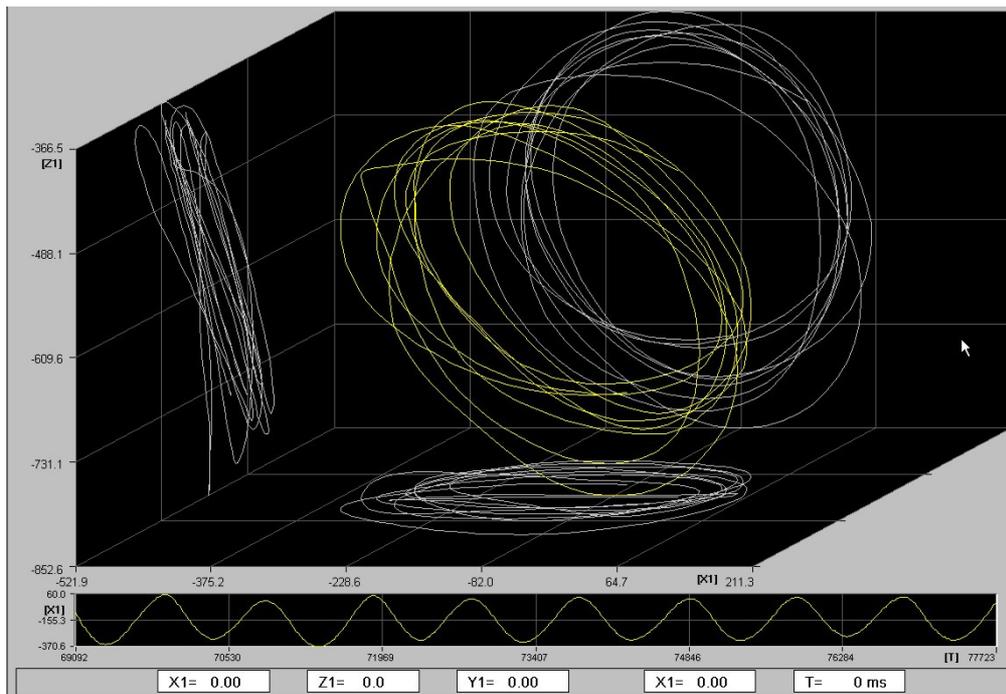
Mikrophone kann dann der Abstand des Markers zu jedem der Mikrophone berechnet werden (Abb. 10).



**Abbildung 10**

Marker, der Ultraschallimpulse an das Messgerät sendet, von dem aus die Daten in ein Computersystem übertragen werden.

Da die Mikrophone in einem Messaufnehmer fest installiert sind und ihr geometrischer Abstand damit definiert ist, kann durch Triangulation die dreidimensionale Position des Markers in einem kartesischen Koordinatensystem berechnet werden (Abb. 11). In der Untersuchung wurden Messraten zwischen 50 und 80 Hz verwendet, d.h. alle 20 bis 12,5 Millisekunden wurden die Koordinaten der Marker ermittelt. Die Maximalfrequenz der untersuchten Armbewegungen betrug 1 Hz und die geschätzte Maximalfrequenz von Willkürbewegungen beträgt 5 Hz. Somit konnten in der anschließenden Datenanalyse, die Markertrajektorien und die Geschwindigkeiten sowie Beschleunigungen mit hoher Genauigkeit rekonstruiert werden (17).



**Abbildung 11**

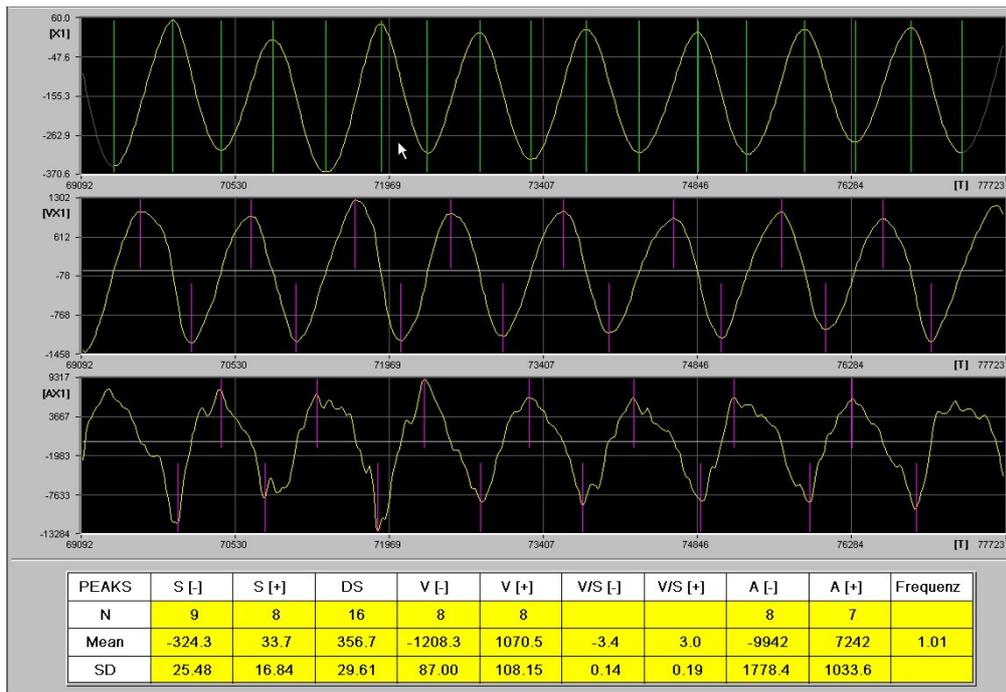
Darstellung einer Bewegung im dreidimensionalen Koordinatensystem

## 2.6. Datenanalyse

### *Kontinuierliche Armbewegungen*

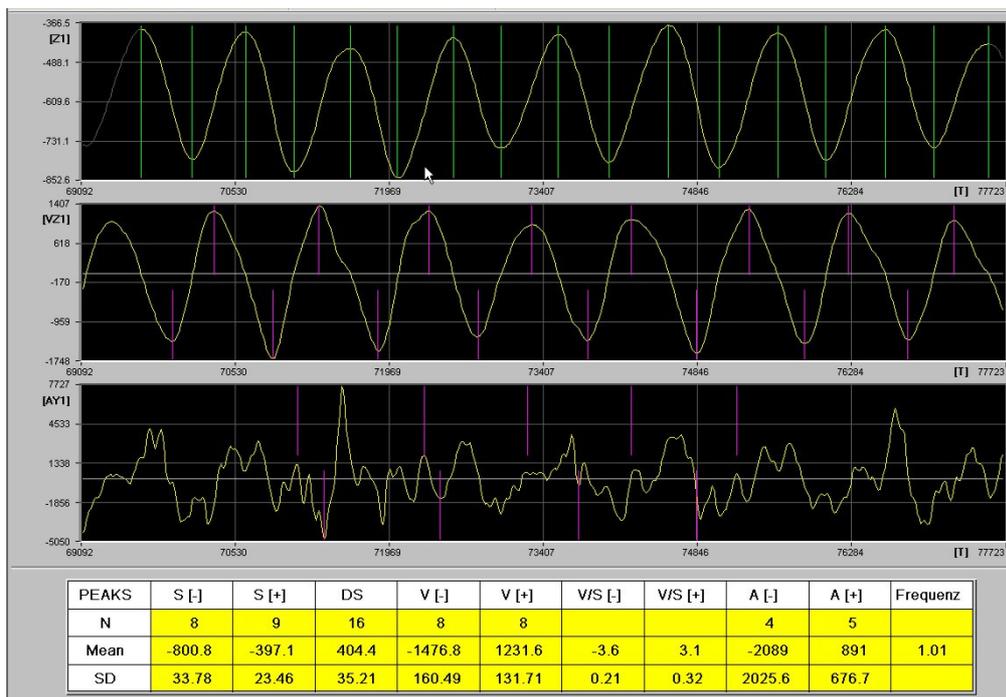
Für die Datenanalyse erfolgte eine Segmentierung der Bewegungen. Von jeder Figur wurden insgesamt 6 Zyklen segmentiert und berechnet, beginnend ab dem 3. Zyklus. Ein Zyklus umfasst eine Bewegungsausführung von links nach rechts und wieder zurück. Die Umkehrpunkte markieren die jeweilige Richtungsänderung. Die Segmentgrenze liegt jeweils am unteren Umkehrpunkt (Abb. 12, 13).

Die Bewegungsdarstellung erfolgte bei der Linie nur in der Transversalachse ( $x$ -Achse) (Abb. 12), bei den Figuren Ellipse und Infinite in der Transversal- und der Vertikalachse ( $z$ -Achse) (Abb 13).



**Abbildung 12**

Bewegungsaufzeichnung der Figur Linie in der Transversalachse



**Abbildung 13**

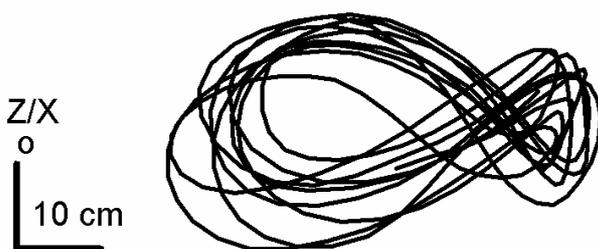
Bewegungsaufzeichnung der Figur Ellipse in der Vertikalachse (z-Achse)

Jede Figur war in der Vorgabe 40 cm breit. Aus der Differenz des Wertes in den Umkehrpunkten konnte die Weite berechnet werden.

Um ein Kriterium für die korrekte Abbildung der Figur zu schaffen, wurde das Verhältnis von der Höhe zur Breite betrachtet, d.h. von der z-Achse zur x-Achse. Bei der Vorgabe der Figuren Ellipse und Infinite betrug das Amplitudenverhältnis bei einer Breite von 40 cm und einer Höhe von 20 cm 20 zu 40, also 0,5. Ein Verhältnis von 1:1 würde bedeuten, dass beispielsweise die Figur Ellipse als Kreis abgebildet wurde (die Breite entspräche dann der Höhe), die Abbildung wäre somit nicht korrekt erfolgt. Bei der Gerade sollte das Verhältnis im Idealfall 0 betragen, da diese horizontal vorgegeben wurde. Ist diese schräg dargestellt, so resultiert ein von 0 abweichendes Verhältnis und kann als Parameter für eine nicht korrekte Darstellung der Figur herangezogen werden.

In der Segmentanalyse wurde die Differenz aus den Umkehrpunkten in der Vertikalachse durch die Differenz der Werte aus den Umkehrpunkten in der Transversalachse berechnet.

Außerdem wurden die Standardabweichungen der Höhe der Bewegungspfade entlang der Z-Achse gemessen. Dadurch kommen entweder einzelne Abweichungen der Höhe zum Ausdruck oder eine unterschiedlich Größendarstellung der beiden 'Augen' der Infinite-Figur (Abb. 14).



**Abbildung 14**

Graphische Darstellung der Imitation des Infinite-Zeichens LH-Patienten (L7)

(Wenn ein "Auge" immer größer als das andere ist, so kommt es insgesamt zu einer hohen Standardabweichung der Höhe bei der Figur, da die Höhe bei jeder Darstellung der Figur bei einem "großen Auge" zu einem "kleinen Auge" variiert.)

Bei der Vorführung der Armbewegungen gab es 2 Frequenzen - 0,5 Hz und 1,0 Hz. Die Frequenz errechnet sich aus der Zeit von Umkehrpunkt zu Umkehrpunkt. Das Mittel der einzelnen Werte ergibt die Frequenz.

Um zu klären, ob die Patienten in der Lage waren, die beiden vorgegebenen Frequenzen zu unterscheiden, wurde das Verhältnis der unter den beiden Vorgaben produzierten Frequenzen berechnet. Es wurde aus der langsamen Vorgabe (0,5 Hz) dividiert durch die schnelle (1,0 Hz) berechnet und betrug somit im Idealfall 0,5. Bei zwei identischen Frequenzen (keine Unterscheidung zwischen den beiden Frequenzen) würde das Verhältnis 1,0 betragen.

### *Bewegungsrichtung*

Die Patienten sollten die Bewegungen des Untersuchers, spiegelbildlich imitieren. Für die Imitation der Linie spielt die Richtung keine Rolle. Bei den Figuren Ellipse und Infinite (bezieht sich für Infinite auf das Medial der beiden "Augen") erfolgten die Bewegungen des Untersuchers mit der rechten Hand im Uhrzeigersinn. Bei Probanden, die die Bewegungen mit der linken Hand ausführten (linksseitig geschädigte Patienten und ihre Kontrollgruppe), hatten die Armbewegungen von ihrer Seite aus gesehen gegen den Uhrzeigersinn zu erfolgen. Für die Probanden, welche die Armbewegungen mit der rechten Hand ausführten (rechtsseitig geschädigte Patienten und ihre Kontrollgruppe), wurde das Bild des Untersuchers gespiegelt. Somit führte dieser die Bewegungen gegen den Uhrzeigersinn aus. Für rechtsseitigen Probanden ergab sich damit eine Bewegungsrichtung im Uhrzeigersinn. Es wurden die Abweichungen von der vorgegebenen Richtung notiert.

### *Wahrnehmungstest*

Es wurden die Fehler aller Patienten notiert.

### *Zielbewegungen*

Durch Segmentierung wurde die Zeit von Umkehrpunkt zu Umkehrpunkt berechnet. Die Umkehrpunkte stellt in diesem Fall das Erreichen der jeweiligen beiden Ziele dar. Das Mittel der einzelnen Werte ergibt die Frequenz.

### *Korrelationsanalyse*

Um herauszufinden, ob es einen Zusammenhang der Leistungsparameter bei der Imitation der Armbewegungen mit Apraxie gibt, wurden die Leistungen der Patienten mit Apraxie-Scores verglichen. Es gab einen Score für Apraxie bei Pantomime und einen Score für Apraxie bei Imitation. Der Score für Pantomime wurde bei sieben linksseitig geschädigten Patienten (L2, L3, L4, L6, L9, L10, L11) und der für Imitation bei allen LH-Patienten bestimmt und dementsprechend mit den Leistungsparametern korreliert.

Außerdem wurden die Leistungsparameter miteinander verglichen, um fest zu stellen, ob es zwischen den einzelnen Fehlern Korrelationen gab.

Schließlich wurde die Frequenz der Armbewegungen mit der Frequenz der Zielbewegungen korreliert, um hier mögliche Übereinstimmungen festzustellen.

## 2.7. Angewandte statistische Verfahren

Die Leistungsmaße für die zeitliche und räumliche Darstellung der Figuren wurden analysiert. Es wurden Mittelwerte bzw. Standardabweichungen der einzelnen Parameter ermittelt und im Kollektiv untersucht.

Dazu wurde berechnet, ob signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Probandengruppen oder räumlich-zeitlichen Parametern bestanden. Es erfolgte eine 3-faktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit den Faktoren "Gruppe" (LH, RH, CL, CR), "Figur" (Linie, Ellipse, Infinite) und Geschwindigkeit ("slow", "fast").

Es wurden weiter post hoc Vergleiche zwischen den einzelnen Bedingungen untereinander mittels t-Test für abhängige Stichproben auf einem Signifikanzniveau von  $p = 0,05$  durchgeführt.

Für die Zielbewegungen wurde eine 2-faktorielle ANOVA berechnet mit den Faktoren "Gruppe" (LH; RH,CL, CR) und "Zielgröße" ("groß", "klein").

Die Leistungsmaße wurden anschließend miteinander und mit einem Apraxie-Score korreliert. Dies erfolgte mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson.

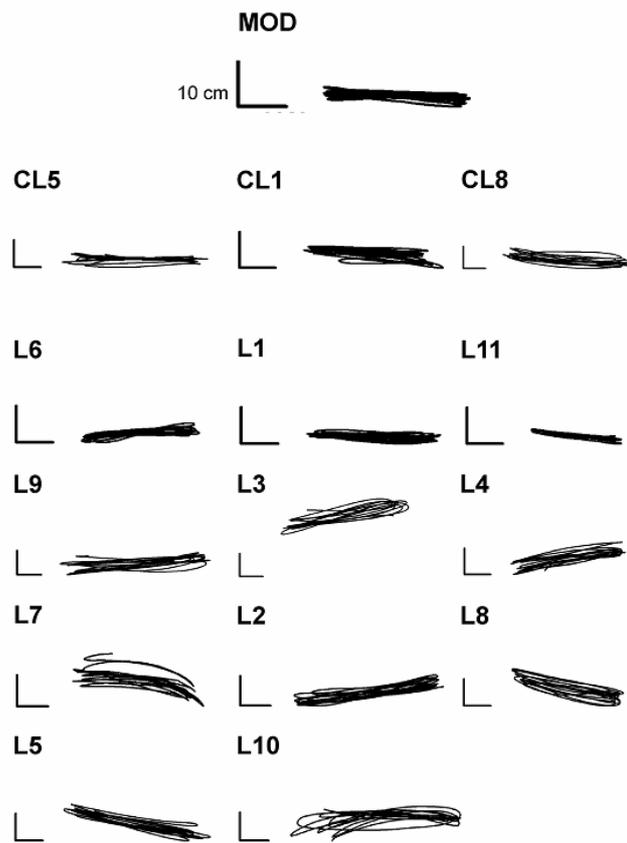
### **3. ERGEBNISSE**

#### **3.1. Graphische Abbildungen der Figuren**

Zunächst sollen graphische Abbildungen der Imitation der Figuren der Probanden betrachtet werden.

Für die einzelnen Figuren sind in den folgenden Abbildungen die Vorgabe des Untersuchers (MOD), darunter die Imitationen der Kontrollpersonen (CL 1-10) und darunter die Imitationsleistungen der links - bzw. rechtsseitig geschädigten Patienten dargestellt (L 1-11 / R 1-10). Bei den Kontrollpersonen ist die beste, eine mittlere und die schlechteste Leistung abgebildet, bei den Patienten jede Leistung, absteigend von der besten bis zur schlechtesten. Die dargestellten Leistungen der Probanden sind aus dem 2. Block der Imitationsaufgabe ausgewählt.

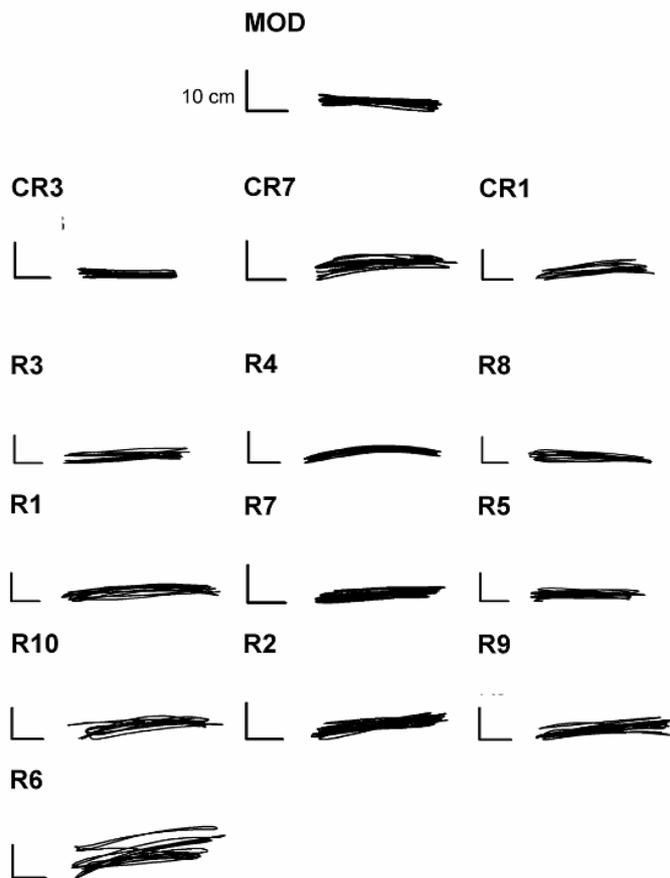
Bei den Figuren Linie und Ellipse wurde die Leistung anhand des Amplitudenverhältnisses bewertet, bei der Infinite-Figur wurde die Standardabweichung der Höhe als Maßstab herangezogen.



**Abbildung 15**

Graphische Darstellung der Imitation der Figur Linie der linkshändig untersuchten Probanden

Bei der Imitation der Figur Linie der linksseitigen Probanden sind bei den Kontrollen sind nur leichte Abweichungen zur Vorgabe zu erkennen (Abb. 15). Bei den LH-Patienten zeigen sich deutliche Abweichungen entlang der Z-Achse. Die Gerade ist häufig gegen die Horizontale gekippt und weist Standardabweichungen in der Höhe auf.

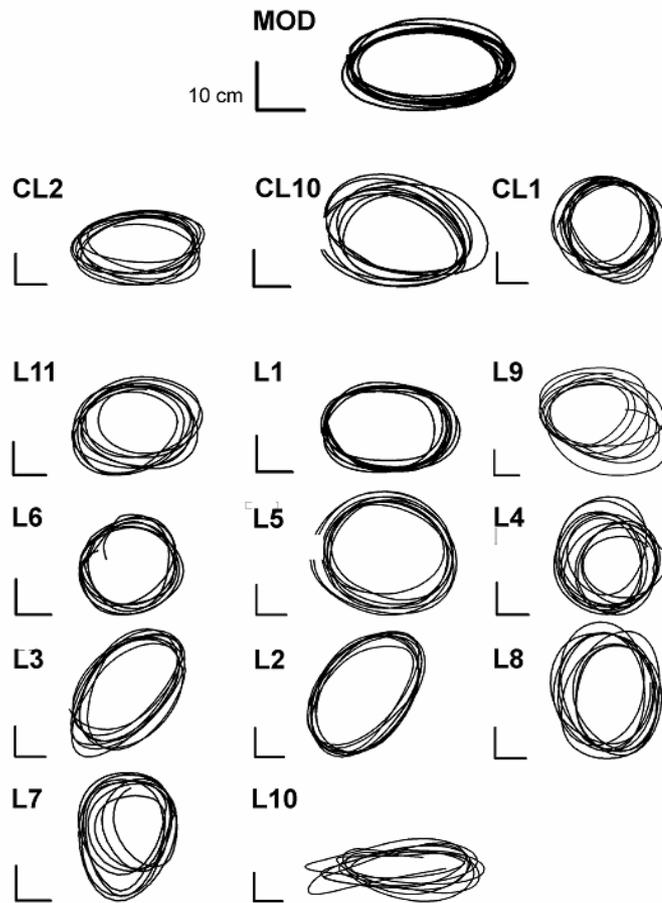


**Abbildung 16**

Graphische Darstellung der Figur Linie der rechtshändig untersuchten Probanden

Auch bei der Imitation der Figur Linie bei den rechtsseitig untersuchten Probanden sind bei der Imitation der Kontrollen nur leichte Abweichungen von der Vorgabe zu erkennen (Abb. 16).

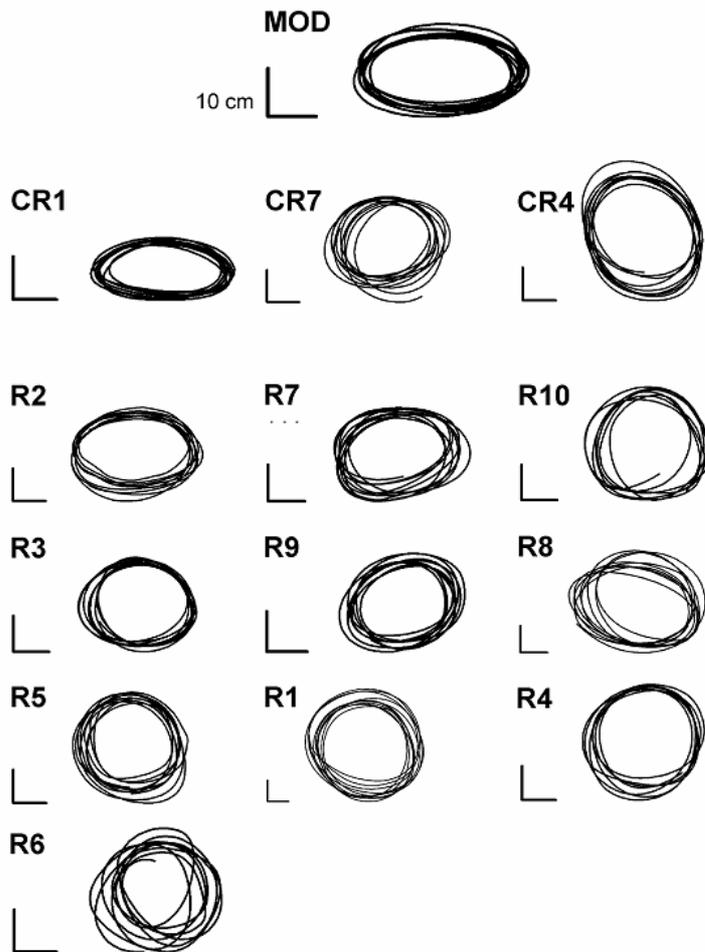
Die Linien der RH-Patienten weisen keine deutlichen Standardabweichungen der Höhe auf (Ausnahme: R6) und sind nicht gegen die Horizontale gekippt.



**Abbildung 17**

Graphische Darstellung der Figur Ellipse der linkshändig untersuchten Probanden

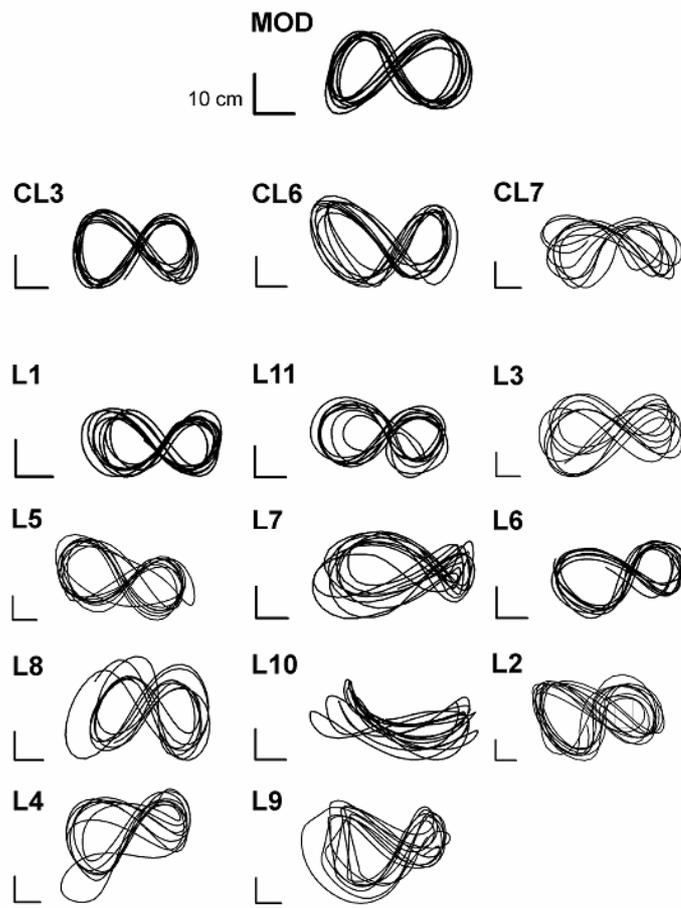
Bei der Imitation der Figur Ellipse sieht man die generelle Tendenz der Probanden, die Figur eher kreisförmig darzustellen (Abb. 17). Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt bei der Patientengruppe. Die Ellipse wirkt bei manchen Abbildungen um  $45^\circ$  (z.B. L2, L3), bei manchen um  $90^\circ$  (z.B. L7, L8) gedreht. Bei den Patienten sind außerdem einzelne Standardabweichungen der Höhe zu erkennen, was zu einzelnen "Ausreißern" führt, beispielsweise bei L4 und L9. L10 stellt insgesamt eine Ausnahme dar, da hier das Amplitudenverhältnis im Gegensatz zu den anderen Patienten vermindert ist, die Ellipse erscheint eher als Linie.



**Abbildung 18**

Graphische Darstellung der Figur Ellipse der rechtshändig untersuchten Probanden

Auch bei den Probanden, die die Bewegungen mit der rechten Hand ausführen, zeigt sich die Tendenz, die Figur Ellipse kreisförmig darzustellen (Abb. 18). Dies ist sowohl bei den Kontrollen, als auch bei den Patienten zu erkennen. Bei der Kontrollperson CR4 ist die Figur insgesamt um 90 Grad gedreht. Allerdings gibt es weniger Standardabweichungen der Höhe als bei den LH-Patienten. Die Ellipse ist zwar teilweise auch kreisförmig dargestellt (z.B. R5, R1, R4), eine "eiförmige" Darstellung liegt jedoch bei keinem Patienten vor. Patient R6, der bei der Imitation der Figur Linie viele Standardabweichungen der Höhe zeigte, weist diese auch bei der Figur Ellipse auf.

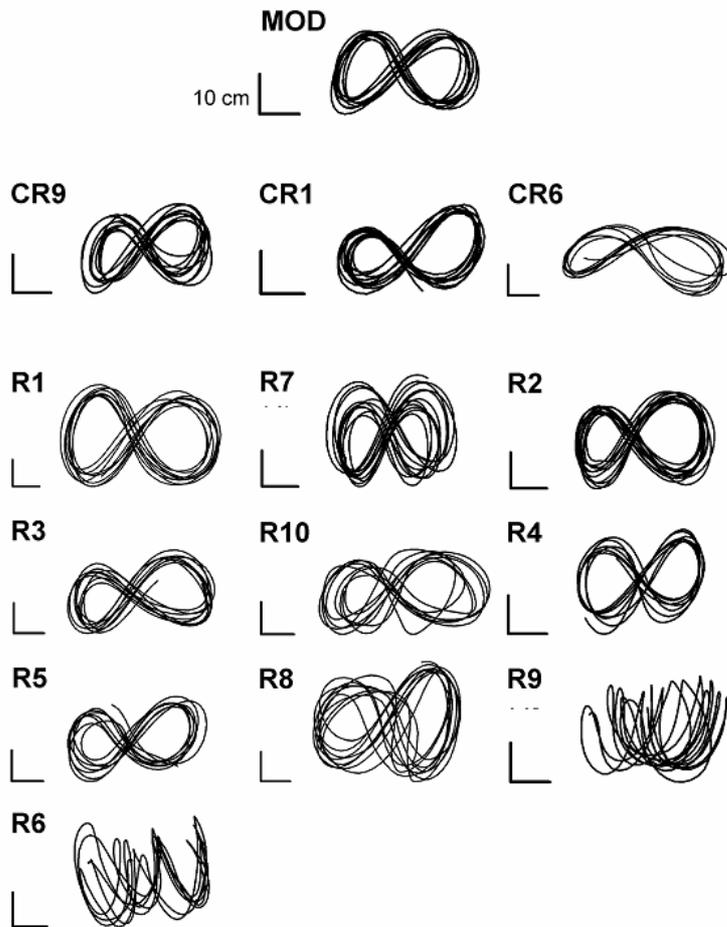


**Abbildung 19**

Graphische Darstellung der Figur Infinite der linkshändig untersuchten Probanden

Die Figur Infinite ist bereits von der linksseitigen Kontrollgruppe ungenau dargestellt (Abb. 19). Proband CL7 weist viele Standardabweichungen der Höhe auf.

Bei den LH-Patienten fallen besonders die Standardabweichungen der Höhe auf, als einzelne "Ausreißer" (z.B. L4, L8) und als unterschiedlich große 'Augen' der Figur, vor allem bei den Patienten L7 und L9. Patient L10 gelingt es kaum, die Figur erkennbar darzustellen .



**Abbildung 20**

Graphische Darstellung der Figur Infinite der rechtshändig untersuchten Probanden

Auch die Kontrollgruppe der rechtsseitig untersuchten Probanden weist Standardabweichungen in der Höhe auf (Abb. 20).

Bei den RH-Patienten gibt es bei der Figur Infinite insgesamt weniger Standardabweichungen in der Höhe, dadurch kommt es zu weniger "Ausreißern" und die beiden "Augen" der Figur sind meist gleich groß. Eine Ausnahme stellen Patient R9 und R6, welche die Kriterien der Figur nicht erfüllt haben.

## *Zusammenfassung*

Zusammenfassend betrachtet lässt sich sagen, dass die Figuren von den linksseitig geschädigten Patienten insgesamt schlechter dargestellt wurden als von den anderen Gruppen. Dies zeigt sich durch Kippung der Linie gegen die Horizontalachse (Abb. 15), der kreis- und eiförmigen Darstellung der Ellipse (Abb. 17) und den Standardabweichungen der Höhe bei der Ellipse (Abb. 17) und der Standardabweichung der Höhe bei der Infinite-Figur (Abb. 19).

Bei den rechtsseitig geschädigten Patienten fällt Proband R6 auf, der insgesamt wesentlich schlechter abschneidet als die anderen RH-Patienten. Zwei Patienten R6 und R9 haben die Kriterien der Figur Infinite nicht erfüllt (Abb. 20). Ansonsten wirken die Fehler der RH-Patienten moderater.

Auch die Kontrollgruppen scheinen ähnliche Fehler wie die Patienten, allerdings in leichterer Form, begangen zu haben.

Insgesamt sind die Figuren bei fast allen Probanden zu erkennen.

## **3.2. Statistische Auswertung der Armbewegungen**

In der Graphik der Statistik sind die vorgegebenen Figuren des Untersuchers mit der Farbe Schwarz gekennzeichnet (MOD), die linksseitig geschädigten Patienten mit dunkelblau (LBD) und die dazugehörige Kontrollgruppe mit hellblau (CL). Die rechtsseitig geschädigten Patienten sind mit rot (RBD), und ihre Kontrollgruppe mit orange (CR) gekennzeichnet. Die ANOVA wurde ohne das dargestellte Modell berechnet. Post-hoc-Vergleiche zwischen den Gruppen sind mit "\*" gekennzeichnet. Dabei wurden die Vergleiche zwischen den Patientengruppen (LBD/RBD), zwischen den Kontrollen (CL/CR) und zwischen der Patientengruppe mit ihrer jeweiligen Kontrollgruppe (LBD/CL und RBD(CR) berechnet.

Für die verschiedenen Parameter wird je zwischen den beiden Geschwindigkeiten sowie zwischen den einzelnen Figuren unterschieden.

Dargestellt sind die Weite der Figuren, das Amplitudenverhältnis, die Variabilität der Höhe, die Frequenz und das Verhältnis der Frequenzen.

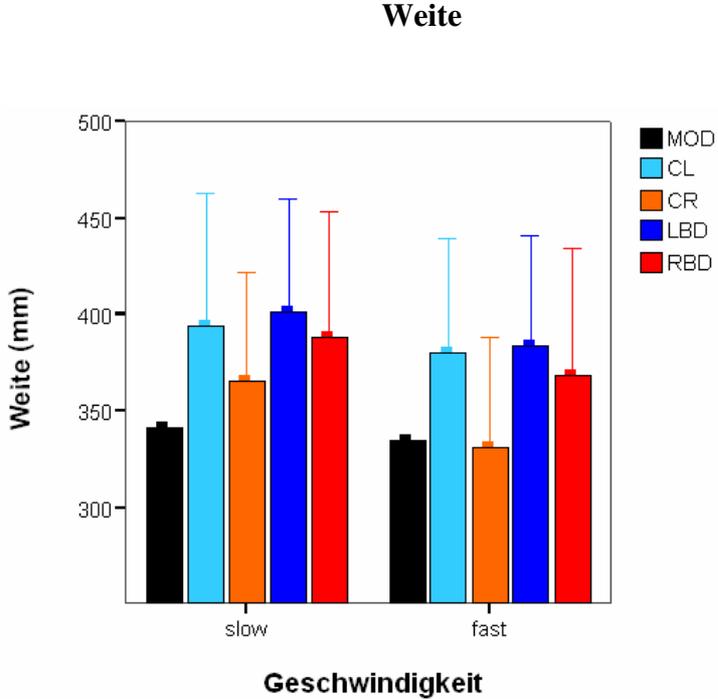
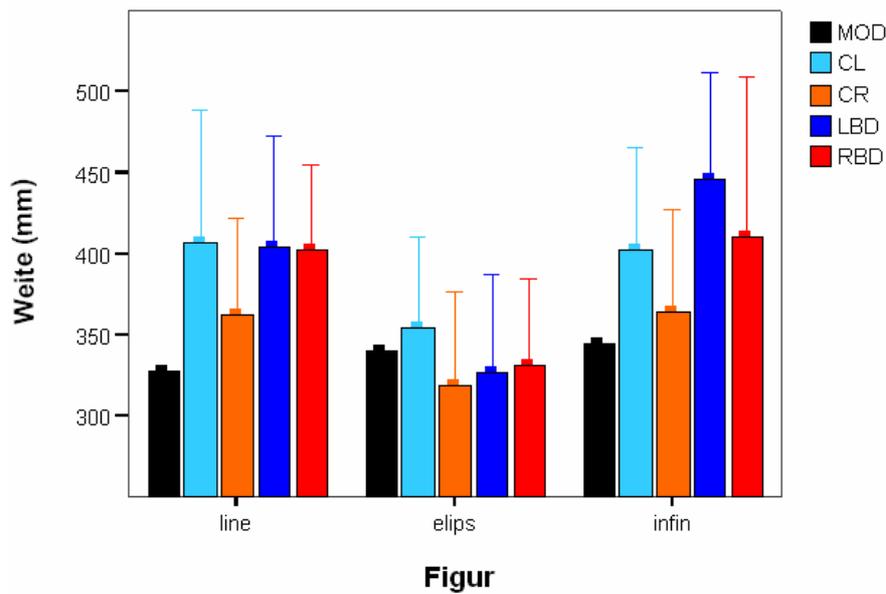


Abbildung 21

Weite der Figuren insgesamt bei den Geschwindigkeiten 'schnell' und 'langsam'



**Abbildung 22**

Weite der Figuren

**Haupteffekte**

Gruppe: /

Figur:  $F(2,72)=47,91$ ,  $p<0,001$

Geschwindigkeit:  $F(1,36)=30,93$ ,  $p<0,001$

**Interaktionen**

Gruppe mit Figur:  $F(6,72)=2,64$ ,  $p=0,023$

Gruppe mit Geschw.: /

Figur mit Gruppe: /

In Abbildung 21 fällt auf, dass die Weite bei beiden Geschwindigkeiten (bis auf die Kontrollgruppe rechts bei der schnellen Bewegungsausführung) größer als die des Modells war. Es besteht ein Haupteffekt für die Geschwindigkeit ( $p<0,001$ ), die Weite war bei der schnellen Geschwindigkeit bei allen Gruppen insgesamt geringer. Zwischen den Gruppen besteht kein Unterschied.

Für die Figuren besteht ein Haupteffekt ( $p<0,001$ ) (Abb. 22). Dies liegt an der fast korrekten Erfassung der Weite bei der Figur Ellipse und an der zu großen Weite bei den Figuren Infinite und Linie.

Es besteht eine Interaktion zwischen Gruppe und Figur, deren Ursache sich aber im post-hoc-Test nicht bestimmen ließ.

## Amplitudenverhältnis Höhe / Weite

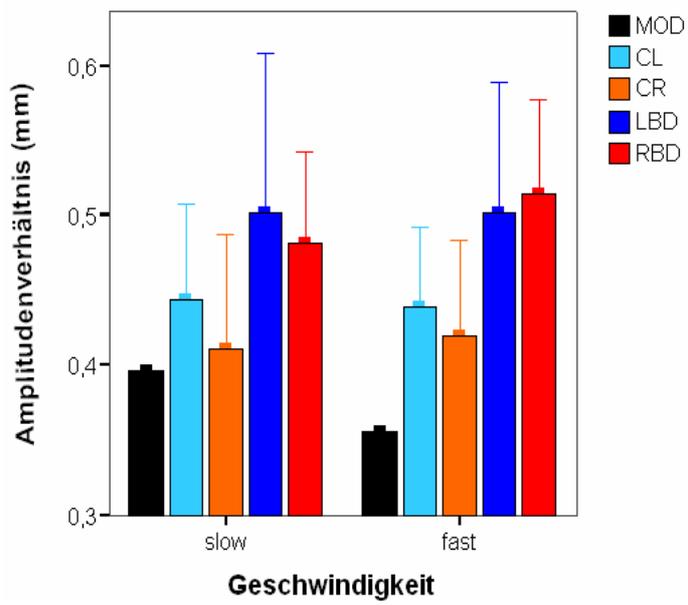
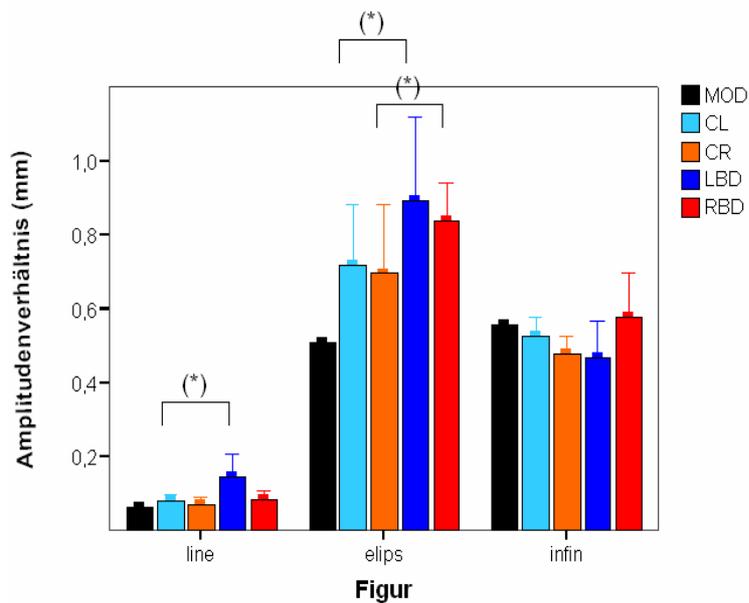


Abbildung 23

Amplitudenverhältnis der Figuren insgesamt bei den Geschwindigkeiten 'schnell' und 'langsam'



**Abbildung 24**

Amplitudenverhältnis der Figuren

**Haupteffekte**

Gruppe:  $F(4,36)=2,90$ ,  $F(4,36)=2,90$

Figur:  $F(2,72)=148,28$ ,  $p<0,001$

Geschwindigkeit: /

**Interaktionen**

Gruppe mit Figur:  $F(8,72)=2,68$ ,  $p=0,12$

Gruppe mit Geschw.: /

Figur mit Geschw.: /

**Post-Hoc-Test:**

Linie:  $CL<LBD$  ( $p=0,07$ )

Ellipse:  $CR<RBD$  ( $p=0,05$ ),  $CL<LBD$  ( $p=0,06$ )

Es besteht kein Unterschied für das Amplitudenverhältnis für die beiden Geschwindigkeiten (s. Abb. 23).

Für das Amplitudenverhältnis der Figuren besteht ein Haupteffekt ( $p<0,001$ ) (Abb. 24). Dies liegt daran, dass das Amplitudenverhältnis der Figur Linie, gegen Null geht, da die Abbildung entlang der X-Achse erfolgt. Darüber hinaus ist auch das Verhältnis für die Ellipse größer als bei Infinite.

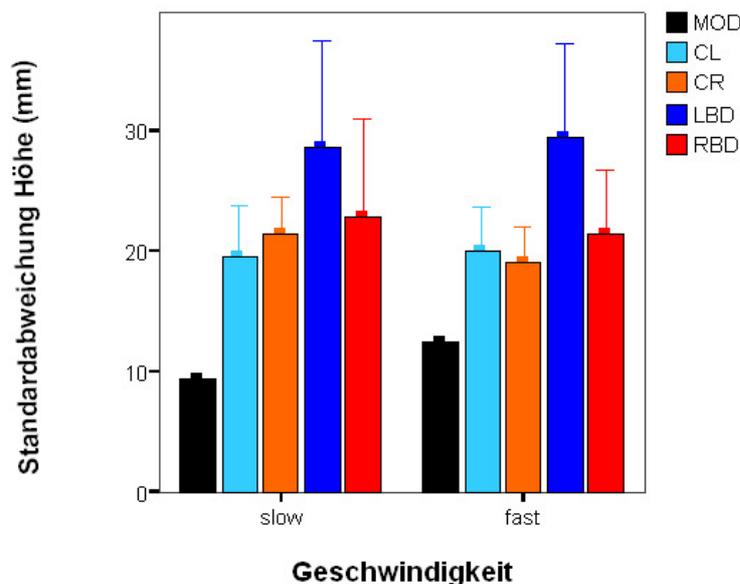
Für die Gruppen besteht ein Haupteffekt ( $p=0,035$ ). Vor allem bei der Figur Linie ist zu erkennen, dass die LH-Patienten hier ein größeres Amplitudenverhältnis aufwiesen. Wie bereits in der Darstellung der Figuren zu erkennen war, kam es hier vermehrt zu einer Kippung der Linie entlang der Z-Achse. Aber auch bei der Ellipse ist ein größeres Amplitudenverhältnis zu erkennen. Dies liegt daran, dass es bei den linkshemisphärisch geschädigten

Patienten vermehrt zu einer kreisförmigen Darstellung der Ellipse kam. Dies zeigt sich auch bei den rechtsseitig geschädigten Patienten und ihrer Kontrollgruppe.

Es besteht eine Interaktion zwischen Gruppe und Figur, die sich aber lediglich als Trend im post-hoc-Test zeigt: bei der Ellipse unterscheiden sich RH-Patienten von ihren Kontrollen ( $p=0,054$ ), bei den Figuren Linie und Ellipse unterscheiden sich LH-Patienten von ihrer Kontrollgruppe (Linie:  $p=0,07$ ) Ellipse:  $p=0,061$ ), andere Vergleiche sind nicht signifikant.

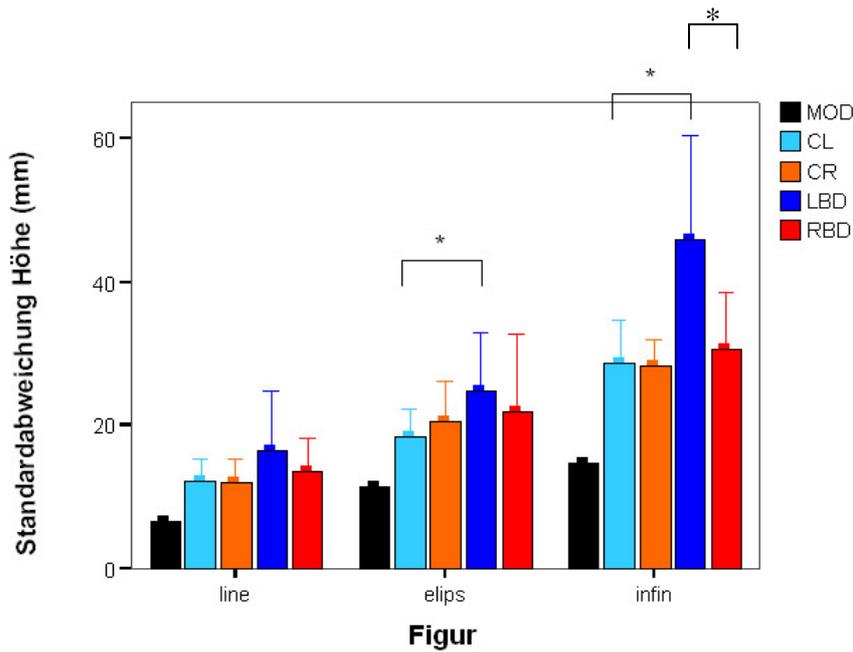
In der graphischen Darstellung stellt Patient L10 als einziger der LH-Patienten die Ellipse nicht tendenziell kreisförmig, sondern eher als Linie dar, somit weist er ein niedrigeres Amplitudenverhältnis auf (Abb. 17). Nimmt man diesen Patienten aus der Berechnung heraus, so ergibt sich für den post hoc Test (CL/LBD Ellipse) ein hochsignifikanter Wert von  $T=3,2$  und  $p=0,005$ . Somit zeigt sich, dass sich die linkshemisphärisch geschädigten Patienten im Mittel hochsignifikant von ihrer Kontrollgruppe beim Amplitudenverhältnis der Ellipse unterscheiden.

### Variabilität (Standardabweichung) der Höhe



**Abbildung 25**

Standardabweichung der Höhe der Figuren insgesamt bei den Geschwindigkeiten 'schnell' und 'langsam'



**Abbildung 26**

Standardabweichung der Höhe

**Haupteffekte**

Gruppe:  $F(3,36)=7,25, p=0,001$

Figur:  $F(2,72)=120,9, p<0,001$

Geschwindigkeit: /

**Interaktionen**

Gruppe mit Figur:  $F(6,72)=3,87, p=0,002$

Gruppe mit Geschwindigkeit: /

Figur mit Geschwindigkeit:  $F(2,72)=2,74, p=0,07$

**Post-Hoc-Test:**

Ellipse:  $CL < LBD (p=0,04)$

Infinite:  $CL < LBD (p=0,03), LBD > RBD (p=0,01)$

Unabhängig von den beiden Geschwindigkeiten treten Standardabweichungen der Höhe bei allen Gruppen auf, am meisten bei den LH-Patienten (Abb. 25).

In Abb. 26 zeigt sich, dass die Standardabweichungen der Höhe für die drei Figuren unterschiedlich sind. Am größten sind sie bei Infinite. Für die Figuren besteht ein Haupteffekt ( $p<0,001$ ). Die Variabilität ist bei der Linie am niedrigsten und bei Infinite am höchsten.

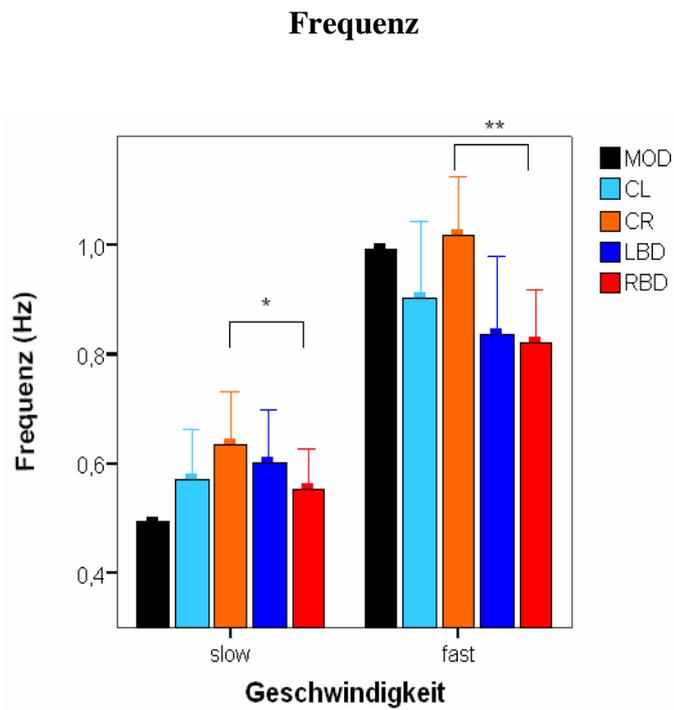
Auch für die Gruppen besteht ein Haupteffekt ( $p<0,001$ ).

Zwischen den Gruppen und den Figuren besteht eine Interaktion.

Im post-hoc-Test bestätigt sich dies durch signifikante Unterschiede zwischen den LH-Patienten und ihrer Kontrollgruppe bei Ellipse ( $p=0,04$ ) und bei

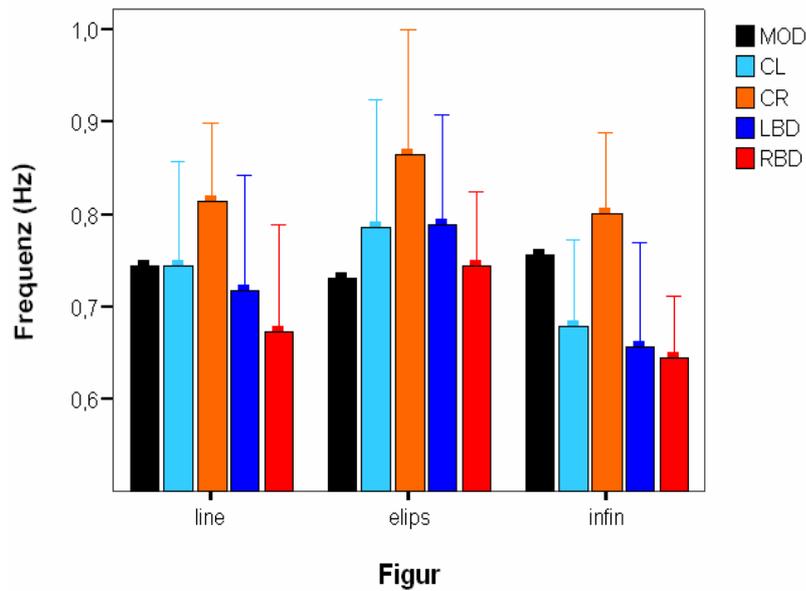
Infinite ( $p=0,03$ ). als auch zwischen den beiden Patientengruppen ( $p=0,013$ ) bei Infinite.

Die Interaktion zwischen Figur und Geschwindigkeit ist nur als Trend erkennbar.



**Abbildung 27**

Frequenz der Darstellung der Figuren insgesamt bei den Geschwindigkeiten 'schnell' und 'langsam'



**Abbildung 28**

Frequenz der Darstellung der Figuren

**Haupteffekte**

Gruppe:  $F(3,36)=3,32$ , ( $p=0,031$ )

Figur:  $F(2,72)=33,96$ ,  $p<0,001$

Geschwindigkeit:  $F(1,36)=444,5$ ,  $p<0,001$

**Interaktionen**

Gruppe mit Figur: /

Gruppe mit Geschw.:  $F(3,36)=5,39$ ,  $p=0,04$

Figur mit Geschw.:  $F(2,72)=906$ ,  $p<0,001$

**Post-Hoc-Test:**

slow:  $CR>RBD$  ( $p=0,05$ )

fast:  $CR>RBD$  ( $p<0,001$ )

Wie zu erwarten besteht für die beiden Geschwindigkeiten "schnell" und "langsam" ein Haupteffekt ( $p<0,001$ ) (Abb. 27) .

Im Vergleich zum Modell zeigt sich die Tendenz aller Gruppen, die langsamen Bewegungen mit zu hoher und die schnellen mit zu niedriger Frequenz auszuführen.

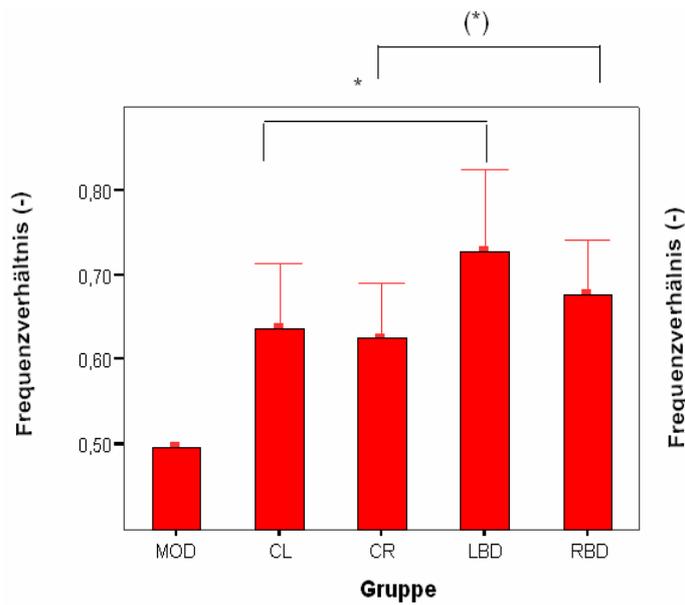
Zwischen Gruppe und Geschwindigkeit besteht eine Interaktion und zwar, wie sich im post hoc Test zeigt, zwischen den RH-Patienten und ihren Kontrollen, die bei langsamer Geschwindigkeit ( $p=0,048$ ) und bei schneller Geschwindigkeit ( $p<0,001$ ) eine jeweils höhere Frequenz erreichen, während andere Vergleiche nicht signifikant waren.

Für die Figuren besteht ein Haupteffekt ( $p<0,001$ ) (Abb. 28). So ist bei der Ellipse insgesamt eine höhere Frequenz zu erkennen als bei Infinite.

Auch für die Gruppen besteht ein Haupteffekt ( $p=0,031$ ). Die rechtsseitig geschädigten Patienten sind stets langsamer als die linksseitig geschädigten, während die rechten Kontrollen stets zu schnell sind.

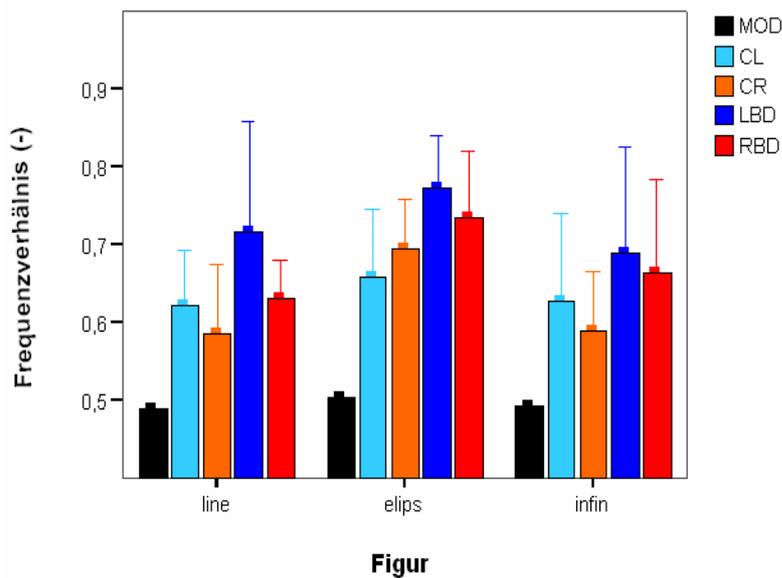
Auf die Interaktion zwischen Figur und Geschwindigkeit wurde hier nicht weiter eingegangen.

### Frequenzverhältnis langsam / schnell



**Abbildung 29**

Mittleres Frequenzverhältnis



**Abbildung 30**

Frequenzverhältnis getrennt für die Figuren

**Haupteffekte**

Gruppe:  $F(3,36)=3,79$ ,  $p=0,018$

Figur:  $F(2,72)=17,85$ ,  $p<0,001$

Geschwindigkeit: /

**Interaktionen**

Gruppe mit Figur: /

Gruppe mit Geschwindigkeit: /

Figur mit Geschwindigkeit: /

**Post-Hoc-Test:**

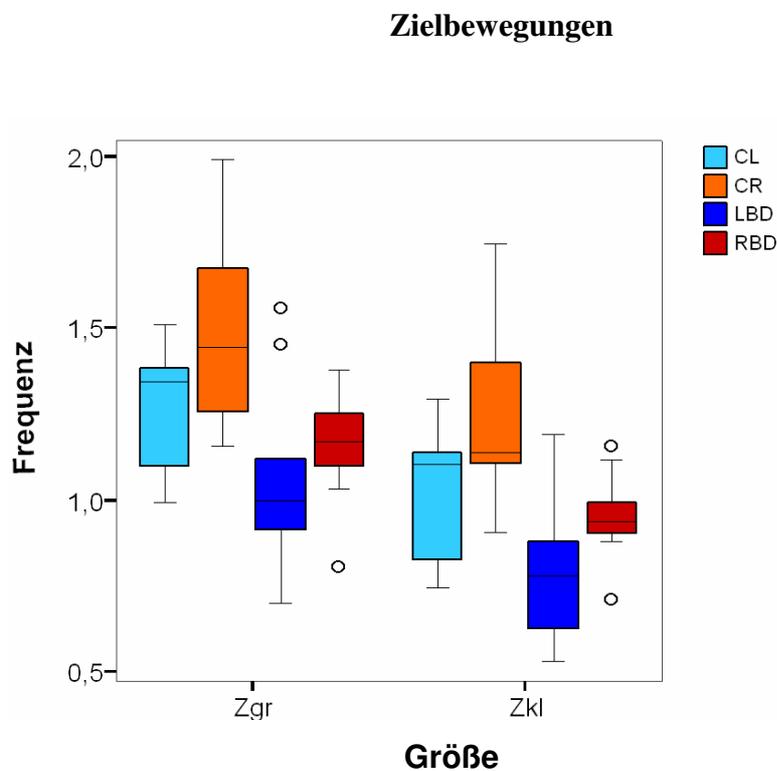
LBD>CL ( $p=0,028$ ), RBD>CR ( $p=0,09$ )

Das Frequenzverhältnis aus langsam (0,5 Hz) durch schnell (1,0 Hz) beträgt im Idealfall 0,5. Dies ist auch am Modell zu sehen (Abb. 29). Generell ist in Abb. 29 zu erkennen, dass das Verhältnis aller Probanden zu hoch ist, besonders fällt dies bei den LH-Patienten auf. Zwischen den Gruppen besteht ein signifikanter Unterschied ( $p=0,018$ ). Im post hoc Test zeigt sich, dass er zwischen LH-Patienten und ihrer Kontrollgruppe besteht ( $p=0,028$ ) und tendenziell signifikant zwischen den RH-Patienten und ihrer Kontrollgruppe ( $p=0,09$ ).

Für die Figuren zeigt sich ein Haupteffekt ( $p<0,001$ ), da das Frequenzverhältnis bei der Ellipse am größten ist (Abb. 30). Zwischen den Gruppen und den Figuren gibt es keine Interaktion.

### 3.3. Statistische Auswertung der Zielbewegungen

Für die Zielbewegungen war keine Vorgabe durch den Untersucher erforderlich. Die Anweisung an die Patienten war, mit dem Zeigefinger so schnell wie möglich zwei Ziele in bestimmten Abstand voneinander zu berühren. Die linksseitig geschädigten Patienten sind dunkelblau, ihre Kontrollgruppe hellblau dargestellt, die rechtsseitig geschädigten rot, die Kontrollen orange.



**Abbildung 31**

Frequenz der Zielbewegungen bei den beiden Zielen 'Ziel groß' und 'Ziel klein'

#### Haupteffekte

Gruppe:  $F(3,35)=7,587, p<0,001$

Größe:  $F(1,35)=153,8, p<0,001$

#### Interaktionen

Gruppe mit Größe: /

Bei den Zielbewegungen gab es einen Haupteffekt für die Gruppen ( $p<0,001$ ) und für die Größen ( $p<0,001$ ) (Abb. 31).

Die jeweilige Kontrollgruppe führte die Bewegungen bei beiden Zielgrößen schneller aus als die Patienten, und die rechtsseitig geschädigten Patienten führten die Bewegungen auch bei beiden Größen schneller aus als die linksseitig geschädigten. Im t-Test zwischen den Patienten zeigte sich, dass sich die LBD-Patienten signifikant von den Kontrollen bei kleinem ( $p=0,007$ ) und bei großem Ziel ( $p=0,004$ ) unterscheiden. Die RBD-Patienten unterscheiden sich bei kleinem Ziel signifikant ( $p=0,03$ ) und bei großem Ziel tendenziell signifikant ( $p=0,072$ ).

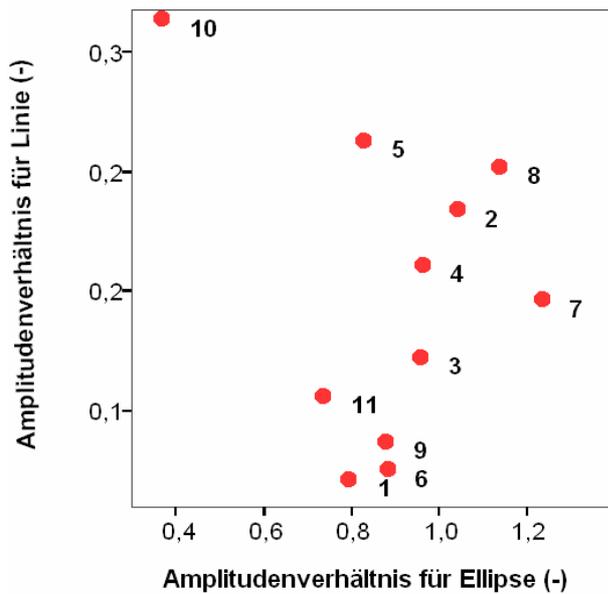
Es zeigte sich außerdem ein Händigkeitseffekt: die rechten Kontrollen führten die Bewegungen schneller aus als die linken, während die Kontrollen sich untereinander bei kleinem und großem Ziel nur tendenziell signifikant unterschieden ( $p=0,063$  und  $p=0,056$ ).

Für die beiden Zielgrößen bestand hinsichtlich der Frequenz der erwartete Haupteffekt ( $p<0,001$ ). Die Zielgröße wirkte sich nicht unterschiedlich auf die Gruppen aus. Es bestand keine Interaktion zwischen Gruppe und Größe.

### **3.4. Korrelationen**

#### *Korrelation der Leistungsmaße*

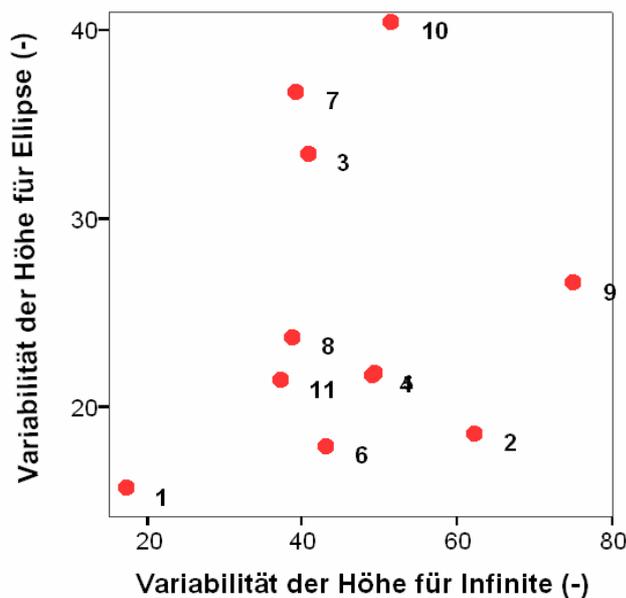
Um herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen den einzelnen Leistungsparametern gibt, wurden sie miteinander korreliert. Dabei wurden die Figuren bzw. Parameter der LBD-Patienten berücksichtigt, bei denen die meisten Fehler auftraten.



**Abbildung 32**

Korrelation des Amplitudenverhältnis der Figuren Linie und Ellipse für LH-Patienten  
 $R = -0,22$  (nicht signifikant)

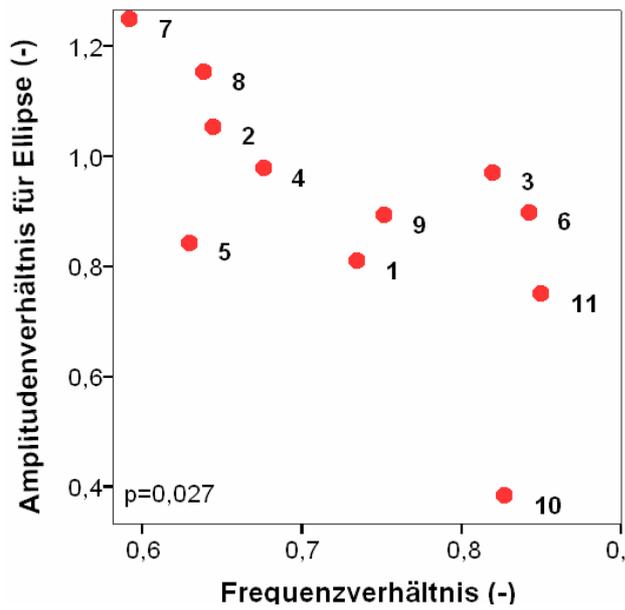
Für das Amplitudenverhältnis zwischen Linie und Ellipse zeigte sich keine signifikante Korrelation (Abb. 32). Patient L10, der ein sehr hohes Amplitudenverhältnis bei der Linie aufweist, hat im Gegensatz ein sehr geringes bei der Ellipse. Aber auch die anderen Patienten zeigen bei beiden Figuren jeweils unterschiedliche Amplitudenverhältnisse.



**Abbildung 33**

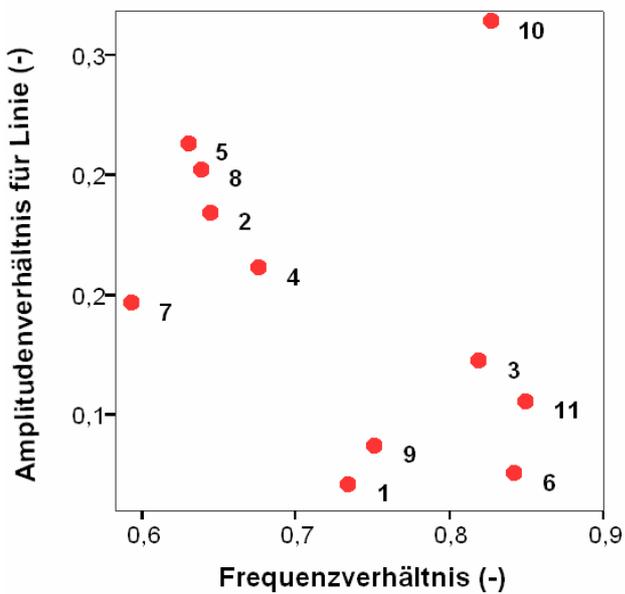
Korrelation der Variabilität der Höhe der Figuren Ellipse und Infinite  
 $R = 0,18$  (nicht signifikant)

Die Variabilität der Höhe zwischen Infinite und der Ellipse korrelierte nicht miteinander (Abb. 33).



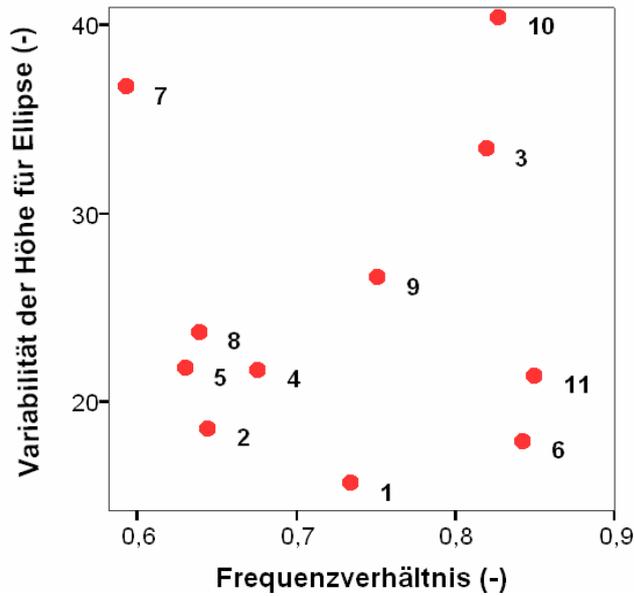
**Abbildung 34**

Korrelation des Amplitudenverhältnisses der Ellipse mit dem Frequenzverhältnis  
 $R=0,66$ ,  $p=0,03$



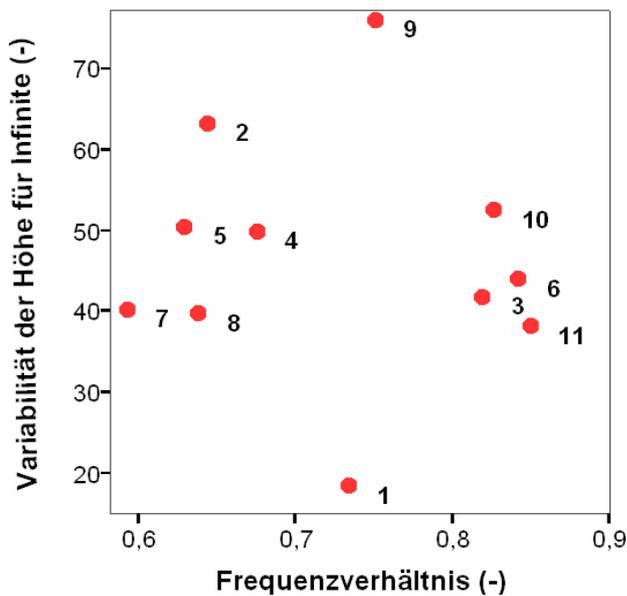
**Abbildung 35**

Korrelation des Amplitudenverhältnis für Linie mit dem Frequenzverhältnis  
 $R= -0,35$  (nicht signifikant)



**Abbildung 36**

Korrelation der Variabilität der Höhe für Ellipse mit dem Frequenzverhältnis  
 $R = -0,76$  (nicht signifikant)



**Abbildung 37**

Korrelation der Variabilität der Höhe für Infinite mit dem Frequenzverhältnis  
 $R = 0,82$  (nicht signifikant)

Das Frequenzverhältnis korrelierte signifikant mit dem Amplitudenverhältnis der Ellipse (Abb. 34). Allerdings in negativer Form: Patienten mit einem hohen Frequenzverhältnis wiesen ein niedriges Amplitudenverhältnis auf, während Patienten mit einem niedrigen Frequenzverhältnis ein hohes Amplitudenverhältnis zeigten. Besonders fällt dies bei Patient L10 auf, der ein

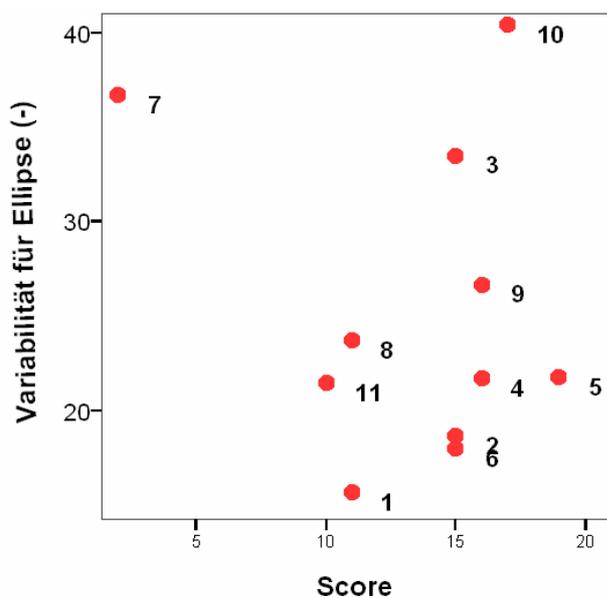
sehr hohes Frequenzverhältnis mit einem sehr niedrigen Frequenzverhältnis aufweist. In Abb. 12 ist die fast linienförmige Darstellung der Ellipse dieses Patienten zu erkennen. Doch auch nach Ausschluss von Patient L10 bleibt die Korrelation signifikant ( $R = 0,66$ ,  $p = 0,038$ ).

Bei der Korrelation des Frequenzverhältnisses mit dem Amplitudenverhältnis der Linie (Abb. 35) besteht zunächst keine Korrelation. Doch nach Ausschluss von Patient L10, der gleichzeitig ein zu hohes Frequenz- und ein zu hohes Amplitudenverhältnis aufweist, ergibt sich auch hier eine signifikante Korrelation: Patienten mit einem hohen Frequenzverhältnis zeigen ein niedriges Amplitudenverhältnis, während Patienten mit einem niedrigen Frequenzverhältnis ein hohes Amplitudenverhältnis zeigen.

Für die Variabilität der Höhe besteht keine signifikante Korrelation mit dem Frequenzverhältnis (Abb. 36, 37).

#### *Korrelation der Leistungsmaße mit dem Apraxie-Score für Imitation*

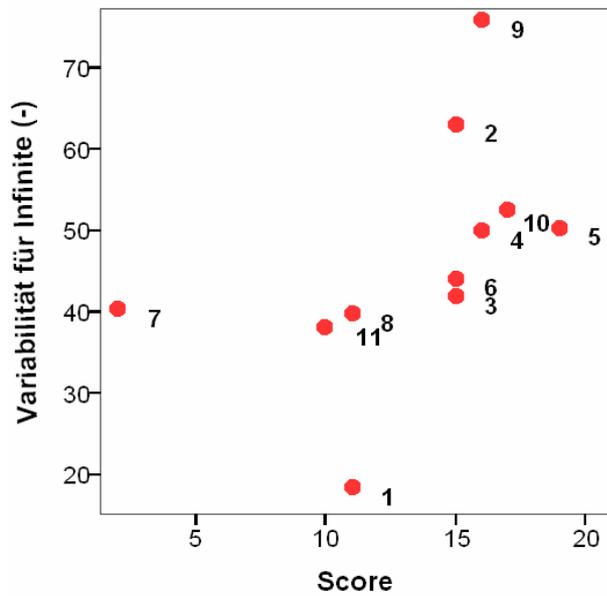
Die Parameter, die bei LH-Patienten auffällig verändert waren, wurden mit dem Apraxie-Score für Imitation korreliert.



**Abbildung 38**

Korrelation der Variabilität der Höhe der Ellipse mit dem Apraxie-Score für Imitation

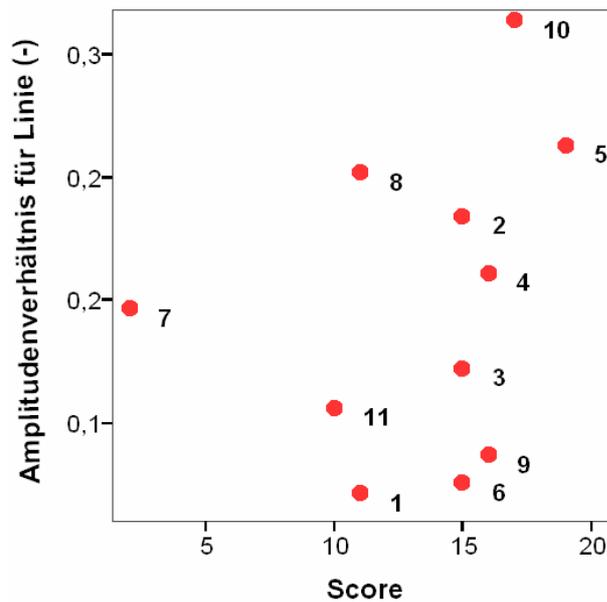
$R = 0,19$  (nicht signifikant)



**Abbildung 39**

Korrelation der Variabilität der Höhe für Infinite mit dem Apraxie-Score für Imitation

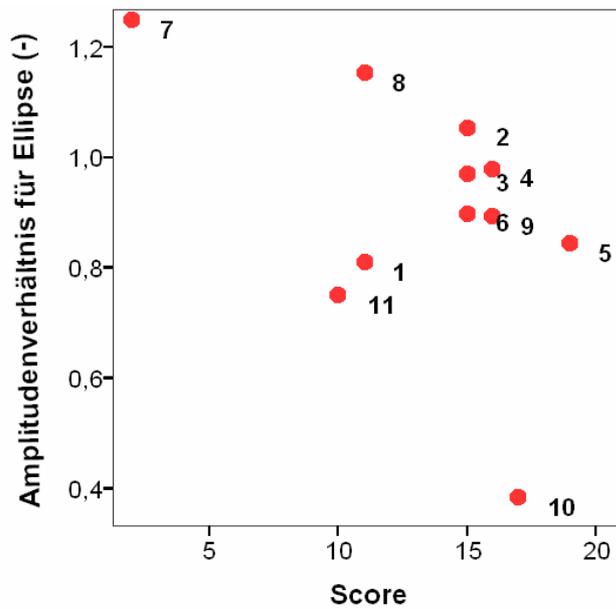
$R = 0,47$  (nicht signifikant)



**Abbildung 40**

Korrelation des Amplitudenverhältnis für Linie mit dem Apraxie-Score für Imitation

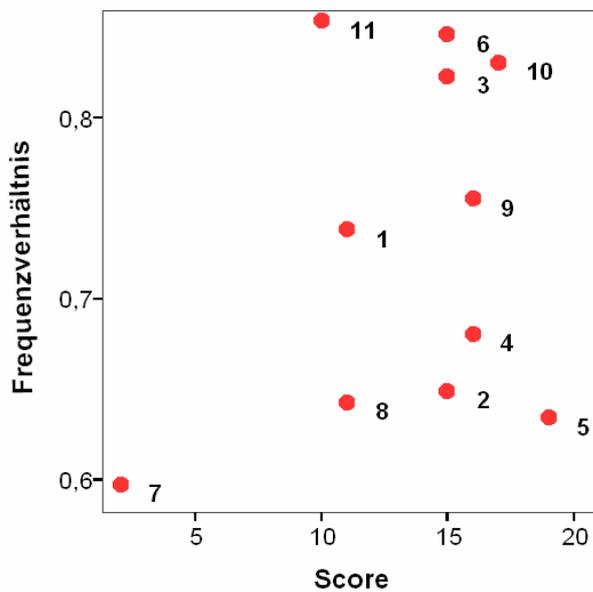
$R = 0,26$  (nicht signifikant)



**Abbildung 41**

Korrelation des Amplitudenverhältnis für Ellipse mit dem Apraxie-Score für Imitation

$R = 0,52$  (nicht signifikant)



**Abbildung 42**

Korrelation des Frequenzverhältnis mit dem Apraxie-Score für Imitation

$R = 0,28$  (nicht signifikant)

Weder die Variabilität der Höhe bei Ellipse und Infinite, noch das Amplitudenverhältnis für Linie und Ellipse, noch das Frequenzverhältnis korrelierte mit dem Apraxie-Score für Imitation (Abb. 38 - 42). Auch nach Ausschluss von Patient L10, der zum Beispiel in Abb. 41 auffällt, kommt es zu keinen signifikanten Korrelationen.

### *Korrelation der Leistungsmaße mit dem ApraxieScore für Pantomime*

Die Leistungsparameter der LH-Patienten wurden mit einem Apraxie-Score für Pantomime verglichen. Der Score war für die Patienten L2, L3, L4, L6, L9, L10 und L11 ermittelt worden.

Auch für den Apraxie-Score bei Pantomime zeigte sich keine Korrelation mit den Leistungsparametern.

### *Korrelation der Frequenz der Armbewegungen mit der Frequenz der Zielbewegungen*

Um herauszufinden, ob sich Übereinstimmungen bei den LH-Patienten der Frequenzen bei Arm- und Zielbewegungen ergeben, wurden die individuellen Mittelwerte über die beiden Aufgaben miteinander korreliert. Dabei zeigte sich, dass es hier zu keinen Korrelationen kam.

### *Korrelation der Zielbewegungen mit dem Apraxie-Score für Imitation*

Die individuellen Mittelwerte der Frequenzen der Zielbewegungen der LH-Patienten wurden mit dem Apraxie-Score für Pantomime korreliert.

Dabei ergab sich weder für die Frequenzen der Zielbewegungen auf das große Ziel ( $R=0,16$ ) noch auf das kleine Ziel ( $R=0,041$ ) eine Korrelation.

### 3.5. Wahrnehmungsanalyse

Im Anschluss an die Imitation der Armbewegungen wurde bei allen Patienten noch ein Wahrnehmungstest durchgeführt. Damit sollte überprüft werden, ob sie die zu imitierenden Figuren erkannt hatten. Dabei wurden die Fehler aller Patienten gezählt.

Bei den linksseitig geschädigten Patienten wurden von 66 möglichen Fehlern 6 begangen, wobei 4 von einem Patienten (L7) begangen wurden (Tab. 4). Dabei handelt es sich teilweise um gravierende Fehler, bei denen die Figuren mit gänzlich verschiedenen verwechselt wurden. L7 ist ein Patient mit starken Apraxie-Kriterien (Apraxie-Score für Imitation: 1). Dieser Patient weist jedoch in den einzelnen Leistungsparametern nicht durchgängig schlechtere Ergebnisse als die anderen LH-Patienten auf (Abb. 38 - 42). 2 Fehler wurden von 2 anderen Patienten (L6, L11) begangen. Diese Fehler sind eher als leichte Fehler anzusehen, da hier die Figur lediglich in ihrer räumlichen Anordnung falsch erkannt wurde. Patient L6 und L11 weisen bei mäßigen bis stärker ausgeprägten Apraxie-Kriterien (Apraxie-Score für Imitation: L6: 15, L11: 10) keine deutliche Verschlechterung der Leistungsparameter auf (Abb. 33-37). Die restlichen LH-Patienten begingen keine Fehler.

**Tabelle 4**

Fehler der linksseitig geschädigten Patienten (L6, L7, L11) beim Wahrnehmungstest

Figur	L6	L7	L11
Gerade 05	Ellipse	Ellipse	
Ellipse 10	Ellip. 90°*		Ellipse 90°*
Gerade 10		Dreieck	
Infinite 05		Infinite 90°*	
Ellipse 05			
Infinite 10		Ellipse	

\* Figur um 90 Grad gedreht

Die rechtshemisphärisch geschädigten Patienten sowie beide Kontrollgruppen begingen keine Fehler.

### 3.6. Bewegungsrichtung

Bei den repetitiven Armbewegungen sollten die Patienten die Bewegungen des Untersuchers spiegelbildlich imitieren. Es wurden die Abweichungen von der vorgegebenen Richtung gezählt. Dabei wurden nur die Figuren Ellipse und Infinite betrachtet. Für die Figur Linie ist die Untersuchung der Bewegungsrichtung nicht relevant. Jeder der Figuren wurde insgesamt sechsmal imitiert. Insgesamt ergeben sich, unter Berücksichtigung von Messfehlern und Auslassungen, 121 mögliche Fehler.

#### *LH-Patienten*

7 der linkshemisphärisch geschädigten Patienten imitierten die Armbewegungen spiegelbildlich, 4 Patienten wiesen jeweils nicht spiegelbildliche Bewegungsrichtungen auf (Tab. 5).

Die Infinite-Figur wurde insgesamt 9 mal (L4, L5, L6, L11), die Ellipse insgesamt 3 mal (L11) in falscher Drehrichtung imitiert. Das entspricht für die Infinite-Figur bei 61 möglichen Fehlern einer Fehlerquote von 14,75 %. Für die Ellipse liegt die Fehlerquote bei insgesamt 60 möglichen Fehlern bei 5 %. Von 121 möglichen Fehlern wurden 12 begangen, das entspricht einer Fehlerquote von insgesamt 9,92 %.

Bei den Patienten L4, L5, L6 handelt es sich um Patienten mit moderaten Apraxie-Kriterien (Apraxie-Score für Imitation: L4: 16, L5: 19, L6: 15), Patienten L11 weist stärkere Apraxie-Kriterien auf (Score: 10). Es zeigt sich keine deutliche Verschlechterung der Leistungsparameter im Vergleich zu den anderen LH-Patienten (vgl. Abb. 38-42).

**Tabelle 5**

Bewegungsrichtung der linksseitig geschädigten Patienten

<b>Patient</b>	<b>spiegelbildliche Imitation</b>	<b>nicht-spiegelbildliche Imitation</b>	<b>Fehler gesamt</b>
L1	Ellipse: 6 Infinite: 6	Ellipse: 0 Infinite: 0	0
L2	Ellipse: 6 Infinite: 6	Ellipse: 0 Infinite: 0	0
L3	Ellipse: 6 Infinite: 6	Ellipse: 0 Infinite: 0	0
L4	Ellipse: 6 Infinite: 4	Ellipse: 0 Infinite: 2	2
L5	Ellipse: 6 Infinite: 3	Ellipse: 0 Infinite: 3	3
L6	Ellipse: 6 Infinite: 5	Ellipse: 0 Infinite: 1	1
L7	Ellipse: 4 Infinite: 4	Ellipse: 0 Infinite: 0	0
L8	Ellipse: 6 Infinite: 6	Ellipse: 0 Infinite: 0	0
L9	Ellipse: 4 Infinite: 4	Ellipse: 0 Infinite: 0	0
L10	Ellipse: 4 Infinite: 5	Ellipse: 0 Infinite: 0	0
L11	Ellipse: 3 Infinite: 3	Ellipse: 3 Infinite: 3	6

*RH-Patienten*

Alle der rechtsseitig geschädigten Patienten führten die Armbewegungen in spiegelbildlicher Drehrichtung aus. Bei zwei Patienten (R6 und R9) war es nicht möglich, die Drehrichtung der Infinite-Figur zu beurteilen, da die Figur insgesamt zu fehlerhaft dargestellt war.

### *Linksseitige Kontrollgruppe*

Von 129 möglichen Fehlern wurden insgesamt 4 Fehler begangen, das entspricht einer Fehlerquote von 3,1 %. Dabei handelt es sich ausschließlich um die Figur Ellipse. Die Infinite-Figur wurde immer in spiegelbildlicher Richtung imitiert.

### *Rechtsseitige Kontrollgruppe*

Von 115 möglichen Fehlern wurden keine Fehler begangen.

## 4. Diskussion

In vorliegender Studie ging es um die Imitation von kontinuierlichen Armbewegungen. Dazu wurden insgesamt 41 Probanden untersucht: 11 mit linkshemisphärischen Hirnschädigungen, 10 mit rechtshemisphärischen Schädigungen und 20 gesunde Kontrollpersonen. Den Probanden wurden Armgesten steigender Komplexität vorgeführt. Dabei handelte es sich um die Figuren Linie, Ellipse und Infinite. Jede der Figuren wurde 10 mal hintereinander durch den Untersucher vorgeführt, der dabei die Figuren vor sich "in die Luft zeichnete". Im Anschluss daran sollten die Probanden die Figuren imitieren. Es waren zwei verschiedene Geschwindigkeiten vorgegeben. Die Darstellung der Figuren vom Untersucher wurde zuvor auf Video aufgezeichnet und den Probanden auf einer Leinwand in Originalgröße vorgeführt. So konnten standardisierte Verhältnisse geschaffen werden. Die Bewegungsaufzeichnung erfolgte mit Zebris, einem System mit dem die Bewegungen der Probanden über Ultraschallimpulse in einem Computersystem dreidimensional aufgezeichnet werden konnten. Es wurden räumliche wie zeitliche Bewegungsaspekte gemessen. Eine zentrale Fragestellung war, ob sich linkshemisphärisch geschädigte Patienten von rechtshemisphärisch geschädigten und gesunden Kontrollen bei der Imitation der Armbewegungen unterscheiden.

Es soll nun zunächst auf die einzelnen Bewegungsaspekte und die dabei auftretenden Abweichungen eingegangen werden.

### *Räumliche Bewegungsaspekte*

Bisherige Studien haben gezeigt, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten Probleme bei der räumlichen Darstellung von Gesten haben. In Studien von Goldenberg und Mitarbeitern wird dies für Handgesten belegt (10, 11, 12, 13), in Studien von Platz und Mitarbeitern und von Weiss und Mitarbeitern für Armgesten (28, 36).

Es wird deshalb vermutet, dass auch die in dieser Studie untersuchten Patienten Schwierigkeiten bei der räumlichen Darstellung von repetitiven Armgesten haben.

Als Maß für die korrekte räumliche Darstellung der Figuren wurden die Weite der Figuren, das Verhältnis von der Höhe zur Breite (Amplitudenverhältnis) und die Standardabweichungen der Höhe betrachtet.

Die Abbildung der Linie erfolgt bei korrekter Darstellung entlang der Transversalachse. Ein erhöhtes Verhältnis von Höhe zu Breite, das bei der Gerade im Idealfall 0 betragen sollte, weist auf eine Kippung der Linie in der Transversalachse hin, und somit auf eine nicht korrekte Abbildung der Figur.

Als Leistungsmaß für die Darstellung der Figur Ellipse konnte ebenfalls das Amplitudenverhältnis herangezogen werden. Ein erhöhtes Verhältnis von der Höhe zur Breite weist z.B. auf eine kreis- bzw. "eiförmige" Darstellung der Figur hin.

Da die Figur Infinite ("liegende Acht") aus zwei zusammengesetzten Ellipsen besteht konnte auch hier das Amplitudenverhältnis als Leistungsmaß herangezogen werden.

Als Parameter für die Darstellung der Figuren wurde neben dem Amplitudenverhältnis die Standardabweichung von der Höhe berechnet.

So lassen sich einzelne "Ausreißer" bei der Darstellung der Figuren in der Höhe erkennen sowie eine unterschiedliche Größedarstellung der beiden "Augen" der Infinite-Figur.

Es zeigte sich, dass linkshemisphärisch geschädigten Patienten das größte Amplitudenverhältnis bei den Figuren Linie und Ellipse aufwiesen und sich dabei signifikant von ihrer Kontrollgruppe unterschieden. Bei der Figur Linie führte dies zu einer Kippung entlang der Transversalachse (z.B. L7, L2, L8 in Abb. 15), bei der Figur Ellipse zu einer kreis- bzw. "eiförmigen" Darstellung (z.B. L3, L2, L8 in Abb. 17). Ein hochsignifikanter Wert ergab sich bei der Berechnung des Amplitudenverhältnisses für die Figur Ellipse nach Ausschluss von Patient L10, der die Ellipse eher linienförmig darstellte (Abb. 17).

Die LH-Patienten wiesen bei den Figuren Ellipse und Infinite die höchste Standardabweichung der Höhe auf und unterschieden sich dabei signifikant

von ihren Kontrollgruppen (Abb. 26). Bei beiden Figuren kam es dadurch zu einzelnen "Ausreißern" sowie zu einer unterschiedlichen Größendarstellung der beiden "Augen" der Infinite-Figur (Abb. 17, 19).

Die Weite der Figuren war vorgegeben. Bei keiner der drei zu imitierenden Figuren zeigte sich eine signifikante Veränderung der Weite (Abb. 22).

Die RH-Patienten unterschieden sich lediglich beim Amplitudenverhältnis der Figur Ellipse signifikant von ihrer Kontrollgruppe (Abb. 26). Dadurch kam es auch bei dieser Patientengruppe vermehrt zu einer kreisförmigen Darstellung der Figur Ellipse (Abb. 18). Die RH-Patienten wiesen (wie auch die Kontrollen) den LH-Patienten ähnliche Veränderungen der räumlichen Bewegungsparameter auf. Allerdings in moderater Form und ohne signifikante Unterscheidung zu den Kontrollgruppen. So kam es zu leichten Kippungen der Figur Linie entlang der Transversalachse (Abb. 16), zu einer kreisförmigen Darstellung der Figur Ellipse (Abb. 18) und zu Standardabweichungen in der Höhe bei den Figuren Ellipse und Infinite (Abb. 18, 20).

Allen Probanden bis auf zwei rechtsseitig geschädigte Patienten bei der Figur Infinite (R6, R9, Abb. 20) gelang es, die Figuren erkennbar darzustellen.

Die Darstellung der Figuren erfolgte in zwei Geschwindigkeiten ("schnell" und "langsam") in den Frequenzen von 0,5 Hz und 1,0 Hz.

Für die Leistungsmaße Weite, Amplitudenverhältnis und Variabilität der Höhe zeigte sich keine signifikante Veränderung der Parameter bezüglich der beiden Geschwindigkeiten (Abb. 21, 23, 25).

Beim Vergleich der räumlichen Leistungsparameter untereinander ergab sich keine Korrelation der Parameter untereinander (Abb. 32, 33).

Es zeigte sich, dass die linkshemisphärisch geschädigten Patienten bei der Imitation der Figuren am meisten Veränderungen der räumlichen Bewegungsaspekte aufwiesen, die Veränderungen aber nicht miteinander korrelierten. Wie in bereits zuvor durchgeführten Studien zur Imitation von Gesten linkshemisphärisch geschädigter Patienten ergab sich eine vorrangige Beteiligung der linken Hemisphäre bei räumlichen Bewegungsparametern (10, 11, 12, 13, 28, 36).

Jedoch wiesen auch rechtshemisphärisch geschädigte Patienten ähnliche Veränderungen der Leistungsmaße in moderater Form auf. Außerdem gelang es fast allen Probanden, die Figuren erkennbar darzustellen.

Dies deckt sich nicht mit bisherigen Forschungsergebnissen, in denen linkshemisphärisch geschädigte Patienten im Vergleich zu rechtshemisphärisch geschädigten und gesunden Kontrollen bei der Imitation von Gesten deutlich schlechter abschnitten (10, 11, 12, 28, 36).

Es zeigt sich eine Beteiligung der linken Hemisphäre für die räumliche Darstellung bei der Imitation kontinuierlicher Armgesten, doch ist fraglich, ob diese Beteiligung dafür maßgeblich ist. Wie sich in ähnlichen Veränderungen der räumlichen Bewegungsaspekte aller Probanden zeigt, scheint dabei auch der rechten Hemisphäre eine gewisse Bedeutung zuzukommen.

Vor allem für die linkshemisphärisch geschädigten Patienten scheint die Imitation der in dieser Studie untersuchten Armgesten erleichtert. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass die untersuchten LH-Patienten geringere Apraxie-Kriterien als bisher untersuchte Patienten aufwiesen oder dass sich die in dieser Studie untersuchten Armgesten von bisher untersuchten Armgesten unterscheiden. Auf beide Punkte soll im Weiteren näher eingegangen werden.

### *Zeitliche Bewegungsaspekte*

In bisherigen Studien wurden vor allem räumliche Bewegungsaspekte untersucht. Doch spielen auch zeitliche Faktoren eine Rolle, um eine Bewegung zu imitieren. Zunächst erscheint es sinnvoll, zeitliche Bewegungsaspekte zu definieren.

In einer Studie von Weiss und Mitarbeitern (36) wurden bedeutungslose Armgesten steigender Komplexität untersucht. Dabei wurde eine veränderte Abfolge der einzelnen Bewegungsschritte als zeitlicher Fehler gewertet. Dies bedeutete beispielsweise die Darstellung einer Linie im Anschluss an einen Kreis bei der Vorgabe, eine Linie und dann einen Kreis zu imitieren. Linkshemisphärisch geschädigte Patienten wiesen dabei mehr Veränderungen der Bewegungsabfolgen auf.

In einer Studie von Platz und Mitarbeitern (28) sollte die Figur eines Dreiecks "in die Luft gezeichnet" werden. Dabei wurde die gesamte Bewegungsdauer sowie die Dauer einzelner Bewegungsverzögerungen gemessen. Dabei wiesen die linkshemisphärisch geschädigten Patienten vor allem eine vergrößerte Zeitspanne zwischen den einzelnen Bewegungssegmenten auf.

In beiden beschriebenen Studien war keine feste Bewegungsdauer für die Imitation der Armgesten vorgegeben. In vorliegender Studie sollte die Imitation der Figuren in zwei vorgegebenen Geschwindigkeiten mit der Frequenz von 0,5 und 1,0 Hz erfolgen. Es ging also nicht um die Bewegungsabfolge oder einzelne Bewegungssegmente (spezifische zeitliche Parameter), sondern um die Frequenz, mit der eine Bewegungseinheit (Figur) dargestellt werden sollte. Dabei handelt es sich eher um globale zeitliche Veränderungen.

Im Vergleich zum Modell zeigte sich die Tendenz aller Probanden (bis auf die rechtsseitig untersuchte Kontrollgruppe), die langsamen Bewegungen mit zu hoher und die schnellen Bewegungen mit zu langsamer Geschwindigkeit auszuführen (Abb. 27). Möglicherweise war es für alle Probanden schwierig, die Armgesten in schneller Geschwindigkeit adäquat darzustellen, so dass sie unbewusst ihre Geschwindigkeit verringerten.

Die zu schnelle Ausführung bei der langsamen Geschwindigkeit könnte auf einen physischen Effekt zurückzuführen sein: Das kontinuierliche Imitieren der Armgesten erfordert eine gewisse körperliche Anstrengung. So wird beispielsweise allein das Hochhalten eines Armes für längere Zeit bereits als anstrengend empfunden. Mit einer schnelleren Ausführung der Gesten wird diese Anstrengung verringert.

Die rechtsseitigen Kontrollen führten die Bewegungen bei beiden Geschwindigkeiten zu schnell aus und unterschieden sich dabei signifikant von den rechtsseitig geschädigten Patienten (Abb. 27). Dies könnte auf einen Händigkeitseffekt zurückzuführen sein. Den Probanden, die die Bewegungen mit der rechten Hand ausführten, fiel die Imitation leichter. Die körperliche Anstrengung ist geringer, womöglich auch die Konzentration. Dies könnte dazu führen, die Bewegungen insgesamt schneller auszuführen.

Für die Figuren ergab sich bei den beiden Frequenzen keine signifikante Unterscheidung der Gruppen untereinander (Abb. 28).

Um ein Kriterium für die Unterscheidung der beiden vorgegebenen Frequenzen der Probanden zu schaffen, wurde das Verhältnis aus der langsamen Frequenz (0,5 Hz) und der schnellen (1,0 Hz) (als Mittelwert aller Figuren) berechnet; im Idealfall beträgt der Wert 0,5. Der Wert der LH-Patienten liegt über 0,7 und ist der höchste aller Probanden (Abb. 29). Es zeigte sich, dass sich die LH-Patienten damit signifikant von ihrer Kontrollgruppe unterscheiden. Somit differenzierten die linkshemisphärisch geschädigten Patienten am wenigsten zwischen den beiden Geschwindigkeiten. Die RH-Patienten unterschieden sich tendenziell signifikant von ihrer Kontrollgruppe und weisen somit ähnliche Veränderungen, wenn auch in abgeschwächter Form, auf.

Um eine Bewegung korrekt darzustellen, spielen zeitliche Faktoren genauso wie räumliche eine wichtige Rolle. Es ist nicht nur entscheidend, wohin eine Hand bewegt wird, sondern auch wann. Somit liegt die Vermutung nahe, dass bei apraktischen Patienten die Unfähigkeit eine Bewegung bei erhaltener motorischer Funktion auszuführen, auch durch zeitliche Faktoren mitbeeinflusst wird. Die zeitliche Steuerung einer Bewegung umfasst auch die Veränderungen von Geschwindigkeit, z.B. das Trinken aus einer Tasse. Die Tasse kann relativ schnell zum Mund geführt werden, die Bewegung muss aber kurz vorher abgebremst werden, sonst würde man sich die Tasse an die Lippen schlagen.

Möglicherweise besteht bei apraktischen Patienten nicht die Fähigkeit, innerhalb einer Bewegung ausreichend zwischen zwei Geschwindigkeiten zu differenzieren. Die linke Hemisphäre scheint hier eine wichtige, jedoch nicht maßgebliche Rolle einzunehmen.

### *Räumliche und zeitliche Fehler*

Heilmann (21) formulierte die Hypothese, dass Apraxie durch Zerstörung räumlich-zeitlicher Repräsentationen gelernter Bewegungen, die in der linken Hirnhälfte gespeichert sind, entsteht.

Platz und Mitarbeiter und Weiss und Mitarbeiter stellten bei linkshemisphärisch geschädigten Patienten sowohl räumliche als auch zeitliche Veränderungen der Bewegungsplanung bei der Imitation bedeutungsloser Armgesten fest (28, 36).

Um festzustellen, ob ein Zusammenhang zwischen räumlichen und zeitlichen Bewegungsaspekten besteht, wurden die entsprechenden Parameter miteinander korreliert.

Dabei ergab sich bei der Korrelation des Frequenzverhältnisses mit der Standardabweichung der Höhe keine Korrelation von zeitlichen und räumlichen Bewegungsaspekten (Abb. 36, 37).

Dies könnte bedeuten, dass Felder für zeitliche und räumliche Bewegungssteuerung an unterschiedlichen Stellen im Gehirn lokalisiert sind.

Jedoch korrelierte das Frequenzverhältnis negativ signifikant mit dem Amplitudenverhältnis der Ellipse (Abb. 35) und (nach Ausschluss des Patienten L10) mit dem Amplitudenverhältnis für die Figur Linie (Abb. 34).

Das bedeutet, dass Patienten, die gut zwischen beiden Geschwindigkeiten unterschieden, eine schlechtere Imitation der Figuren Ellipse und Linie zeigten, bzw. Patienten, die die Figuren besser imitierten, schlechter zwischen den beiden Geschwindigkeiten unterschieden.

Möglicherweise gelang es den Patienten nicht, gleichzeitig räumliche und zeitliche Merkmale zu berücksichtigen. Dies könnte durch eine Zunahme des motorischen Defizits bei steigender Komplexität bedingt sein, wie es bereits in der Studie von Weiss und Mitarbeitern beschrieben wurde (36). Steigende Komplexität würde in diesem Fall bedeuten, dass sich die Patienten bei der Imitation der Armbewegungen gleichzeitig noch auf zeitliche Bewegungsaspekte konzentrieren mussten und dadurch die Ausführung der Aufgabe erschwert wurde. Allerdings erschwert sich fast jede motorische Ausführung einer Aufgabe bei steigender Komplexität und zusätzlicher

Ausführung zeitlicher Bewegungsaspekte. So ist beispielsweise das Fahren eines Autos eine sehr komplexe Tätigkeit, bei der viele motorische (z.B. das Treten des Gaspedals) und zeitliche (z.B. das Einschätzen von Entfernung in Bezug auf die Geschwindigkeit, um im richtigen Moment abzubiegen) Aspekte kombiniert werden müssen. Bei stetig steigender Geschwindigkeit kommt irgendwann der Moment, in dem es auch für gesunde Fahrer nicht mehr möglich ist, die Bewegungsaspekte miteinander zu kombinieren. Auch für gesunde Probanden erschwert sich die motorische Ausführung der Aufgabe bei steigender Komplexität wie auch in vorliegender Studie, nur scheint sie sich am meisten für linkshemisphärisch geschädigte Patienten zu erschweren. Das würde bedeuten, dass der linken Hemisphäre eine wichtige, jedoch nicht alleinige Bedeutung für räumliche und zeitliche Bewegungsaspekte und die Kombination beider Aspekte zukommt.

#### *Korrelation mit Apraxie-Score*

Bekannt ist bisher, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten mehr Schwierigkeiten bei der Imitation von Arm - und Handgesten haben als rechtsseitig geschädigte Patienten und gesunde Kontrollpersonen (10, 11, 12, 13, 28, 36).

In vorliegender Studie sollte untersucht werden, ob die Parameter, die bei der Imitation der bedeutungslosen kontinuierlichen Armgesten verändert waren, mit Apraxie-Kriterien zusammenhängen. Dazu wurden die Parameter der Patienten mit einem Apraxie-Score verglichen. Der Score war für alle linksseitig geschädigten Patienten für Apraxie bei Imitation erhoben worden. Da bekannt ist, dass linksseitig geschädigte Patienten auch Schwierigkeiten bei der Pantomime des Objektgebrauchs haben, war der Score auch für Apraxie bei Pantomime erhoben worden (für die Patienten L2,, L3, L4, L6, L9, L11).

Es zeigte sich, dass die Parameter weder mit dem Apraxie-Score für Imitation (Abb. 38 - 42) noch mit dem Score für Pantomime korrelierten. Auch nach Ausschluss des Patienten L10, der nur schwache Kriterien für Apraxie bei

Imitation und dennoch starke Veränderungen der Leistungsmaße aufwies, zeigte sich keine Korrelation der Parameter mit dem Score für Imitation.

Das bedeutet, dass teilweise schwach-apraktische Patienten größere Veränderungen der Parameter aufwiesen, während manche stark-apraktische Patienten eine geringere Veränderung der Leistungsmaße aufwiesen.

Somit ist fraglich, ob die veränderten Leistungsmaße auf mit Apraxie zusammenhängen.

In einer Studie von Hermsdörfer und Mitarbeitern zur Imitation bedeutungsloser Handgesten zeigte sich, dass inkorrekte Endstellungen der Gesten (apraktische Fehler) und Bewegungsänderungen während der Imitation nicht miteinander korrelierten (22). Es wurde vermutet, dass eine linkshemisphärische Schädigung nur die "mentale Repräsentation" der Zielposition (Geste) betreffen könnte.

In vorliegender Studie wurden kontinuierliche Armbewegungen ausgeführt. Dabei geht es nicht um das Erreichen einer definierten Zielposition wie bei einer einmalig imitierten Handgeste. Möglicherweise war bei apraktischen Patienten jedoch auch die "mentale Repräsentation der Figuren" beeinträchtigt. Dies könnte dazu geführt haben, dass viele Patienten die Figur Ellipse eher als Kreis darstellten. Die Bewegungsänderungen korrelieren nicht mit Apraxie, da sich die Patienten nicht bewusst sind, dass sie eine andere Figur darstellen (Kreis statt Ellipse) und so relativ normale Bewegungen ausführen.

Diese Hypothese widerspricht jedoch der Tatsache, dass alle der Patienten die zu imitierenden Figuren im Wahrnehmungstest erkannten. Dass außerdem die Veränderungen der räumlichen Leistungsmaße nicht miteinander korrelierten, bedeutet, dass die Veränderungen unabhängig voneinander auftraten. Dies deutet auf für von Apraxie unabhängige Bewegungsartefakte hin. Die räumlichen Veränderungen der Leistungsmaße traten nicht auf, weil die "mentale Repräsentation" der Geste gestört war, vielmehr handelt es sich um basale Defizite im motorischen Programm der Bewegungen, nicht im Bewegungskonzept, wobei das Bewegungsziel bekannt ist. In Studien von Goldenberg wurde bei apraktischen Patienten ein Defizit bei der Erstellung eines Bewegungskonzeptes vermutet (10, 11, 12, 13). In vorliegender Studie scheint eher das motorische Bewegungsprogramm, nicht das

Bewegungskonzept, gestört zu sein. Dies könnte bedeuten, dass die Imitation kontinuierlicher Armgesten nicht von Apraxie betroffen ist.

### *Armgesten, Handgesten und Körperwahrnehmung*

In mehreren Studien konnten Goldenberg und Mitarbeiter zeigen, dass linksseitig geschädigten Patienten ein generelle Kenntnis über die Relation der Körperteile zueinander zu fehlen scheint, welche ihnen erlaubt, Gesten korrekt zu imitieren (10, 11, 12, 13). In einer Studie von Buxbaum und Mitarbeiter wurde dabei der Begriff der "apraktischen Körperschemastörung" formuliert (2).

Da die Art der Geste eine Rolle für die Imitationsleistung der Patienten spielt, sollte untersucht werden, ob Armgesten von linkshemisphärisch geschädigten Patienten ebenso schlecht imitiert werden wie Handgesten und ob ein Zusammenhang zu einer gestörten Körperwahrnehmung besteht.

Es zeigte sich, dass es den linkshemisphärisch geschädigten Patienten bei der Imitation von Armgesten trotz der veränderten räumlichen und zeitlichen Parameter gelang, fast alle Figuren erkennbar darzustellen (Abb. 15-20).

Die Imitation einer Handstellung ist eine komplexe Aufgabe. Dabei ist es wichtig, die Hand in Bezug zum eigenen Körper bringen zu können und die genaue Zielposition der Hand zu kennen.

Für die Imitation von Armbewegungen ist dies nicht erforderlich. Der Arm muss nicht in Bezug zum Körper gebracht werden, er beschreibt unabhängig davon eine Figur. Die Darstellung erfolgt im Raum und eher unabhängig zum eigenen Körper. Räumliche und zeitliche Fehler schlagen nicht so sehr ins Gewicht, denn die Figur bleibt trotz der Fehler erkennbar und in ihrer Grundstruktur erhalten.

Um beispielsweise die Geste eines militärischen Saluts auszuführen, muss nicht nur die Hand im Raum bewegt werden, sondern man muss auch wissen, an welcher Stelle des Gesichts die Hand anliegen muss. Wichtig ist dabei auch, die richtige Stellung der Hand, damit sie nicht die Stirn oder die Augen

verdeckt. Auf diese Einzelheiten muss bei der Imitation einer Armgeste nicht geachtet werden.

Linksseitig geschädigte Patienten begehen mehr Fehler bei Bewegungen, bei denen sie Gliedmaßen in Bezug zum eigenen Körper bringen müssen als bei der Imitation bedeutungsloser Handgesten. Bei den Armgesten scheint dieser Bezug nicht vorrangig zu sein, was die Ausführung erleichtert.

### *Kontinuierliche und diskrete Armgesten*

Bei der Imitation von Gesten wird normalerweise die Geste einmal vom Untersucher vorgeführt und anschließend vom Probanden imitiert wie z.B. bei den von Goldenberg und Mitarbeitern untersuchten Handgesten (10, 13)

In der Studie von Weiss und Mitarbeitern erfolgte die Anweisung durch verbale Instruktion oder Vorführung der Geste, wurde aber nicht vom Untersucher wiederholt dargestellt (36). Auch die Imitation der Gesten beschränkte sich auf einen Durchlauf.

In der Studie von Platz und Mitarbeitern wurden die Bewegungen entweder anhand einer Schablone vorgegeben, durch sprachliche Anweisung oder durch Vorführung (28). Dabei wurden sie nicht wiederholt vorgeführt, der Proband sollte die Bewegungen jedoch wiederholt ausführen.

In vorliegender Studie wurden Armgesten mehrfach vom Untersucher vorgeführt und dann wiederholt vom Probanden imitiert. Es sollte untersucht werden, ob sich die kontinuierlichen Armgesten von den diskreten Armgesten unterscheiden.

In der Studie von Platz und Mitarbeitern, bei der die Patienten ein Dreieck imitieren sollten, zeigten sie vor allem Schwierigkeiten bei räumlichen Bewegungsaspekten, so dass die Figur in ihrer Grundstruktur teilweise nicht erkennbar war (28, Abb. 2). In der Studie von Weiss und Mitarbeitern, in der es darum ging, eine Linie und einen Kreis oder beide Formen zusammen zu imitieren, wiesen die linksseitig geschädigten Patienten ebenso vor allem Veränderungen der räumlichen Darstellung auf, so dass auch hier die Grundstrukturen teilweise kaum erkennbar waren (36, Abb.3).

In vorliegender Studie gelang es fast allen Patienten, die Figuren erkennbar zu imitieren (Abb. 15 - 20). Da keine Leistungssteigerung der Patienten während der Imitation zu beobachten ist, wurde den Patienten möglicherweise durch die wiederholte Darstellung der Figuren durch den Untersucher die Imitation erleichtert. Dadurch könnte für den Patienten ein vereinfachter Aufbau der Bewegungsausführung im Arbeitsgedächtnis erfolgen. Indem der Proband die auszuführende Bewegung mehrmals hintereinander "präsentiert" bekommt, hat er mehr Zeit, die einzelnen Bewegungsaspekte zu verarbeiten und zu einer Bewegung zusammenzuführen. Dadurch kann sich die Erstellung des Bewegungsprogramms erleichtern. Möglicherweise werden so auch apraktische Fehler kaschiert, indem dem Patienten die "mentale Repräsentation" der Figur erleichtert wird. Dadurch verbessert sich das Bewegungskonzept.

### *Erkennen der Figuren*

In Studien zum Objektgebrauch zeigte sich, dass apraktische Patienten zwar wissen, wie man ein Werkzeug benutzen muss und den Gegenstand auch erkennen, aber trotz erhaltener motorischer Funktion nicht in der Lage sind, die erforderlichen Bewegungen auszuführen (13).

Es sollte die Wahrnehmungsebene der Patienten untersucht werden. Dabei sollte geprüft werden, ob sie überhaupt in der Lage sind, die Figuren zu erkennen.

Den Patienten wurden deshalb im Anschluss an die Imitation nochmals einzelne Bewegungen vorgeführt. Dabei sollten sie zuvor imitierte Figuren aus anderen Figuren herausuchen, die sie nicht imitiert hatten.

Fast alle der linkshemisphärisch geschädigten Patienten waren in der Lage, die Figuren zu erkennen. Zwei Patienten (L6, L7) verwechselten zwei der imitierten Figuren mit den gleichen Figuren, die lediglich in den Achsen

gedreht waren (Tab. 4). Nur Patient L7 wies einer Figur mehrmals gänzlich verschiedene zu. Dabei handelte es sich um einen Patienten, der starke Veränderungen der Leistungsparameter bei der Imitation der Armbewegungen sowie auch starke Apraxie-Kriterien bei Imitation aufwies (Abb. 38 - 42). Jedoch gelang es Patient L7, alle Figuren erkennbar zu imitieren (Abb. 15, 17, 19). Im Gegensatz dazu wies Patient L10, der nicht in der Lage gewesen war, die Figur Infinite erkennbar darzustellen keine Fehler beim Wahrnehmungstest auf (Abb. 19, Tab. 4).

Das Problem bei der Imitation der Armgesten scheint also nicht auf einer mangelnden Wahrnehmungsfähigkeit der Patienten zu beruhen. Dies deckt sich auch mit bisherigen Erkenntnissen bei der Imitation von Gesten (10, 11, 12, 28, 36).

Alle der rechtsseitig geschädigten Patienten, darunter auch die Patienten R6 und R9, die die Figur Infinite nicht erkennbar darstellen konnten (Abb. 20), sowie auch alle Kontrollen, erkannten alle Figuren. Zwischen verschlechterter Imitation und Wahrnehmungsebene bestand offensichtlich kein Zusammenhang. Dies steht nicht in Übereinstimmung mit einer Studie von Goldenberg und Mitarbeitern, in der rechtsseitig geschädigte Patienten eher aufgrund von Schwierigkeiten beim Verarbeiten der visuellen Erkennung Fehler bei der Imitation von Gesten begingen (13). Möglicherweise trat jedoch das Problem der visuellen Verarbeitung hier nicht zutage, da entweder die Figuren relativ leicht zu erkennen waren und/oder die Patienten keine besonders starken Schädigungen der rechten Hemisphäre aufwiesen.

### *Bewegungskonzept*

Die Patienten führten die Armbewegungen mit ihrer nicht-paretischen Hand aus, somit lag keine motorische Beeinträchtigung vor. Es soll nun auf die Frage eingegangen werden, ob die Ursache für eine inadäquate Ausführung der Armbewegungen in einem fehlerhaften Bewegungskonzept zu suchen ist.

Im menschlichen Gehirn gibt es verschiedene Formen, Erinnerungen zu speichern. Denkt man zum Beispiel an einen Kreis, assoziiert man damit eine bestimmte Figur, deren Bedeutung abgerufen werden kann. Verrichtet man, eine Tätigkeit, beispielsweise das kreisförmige Umrühren in einem Kochtopf, würde man dabei nicht an einen Kreis denken. Vielmehr würde man einen bestimmten angelernten Bewegungsablauf ausführen. Um eine bedeutungslose Geste zu imitieren, muss man sich nicht an die Bedeutung, die Semantik, eines Wortes erinnern. Da die Geste keine Bedeutung hat, kann ihr auch kein Begriff zugeordnet werden. Dadurch, dass eine Bewegung nicht selbst erdacht, sondern lediglich imitiert wird, soll sichergestellt werden, dass sie nicht mit der Bedeutung eines Wortes in Verbindung gebracht werden kann und ihre Ausführung dadurch erleichtert wird.

In vorliegender Arbeit sollten die Probanden bedeutungslose Armbewegungen imitieren, das heißt Bewegungsabläufe reproduzieren. Fraglich ist jedoch, ob sie die Bewegungen nicht als solche, sondern als bereits bekannte Figuren im Gedächtnis speicherten. Für die Imitation müssten dann nur die Informationen über die Figuren abgerufen werden. Dies würde die Darstellung zwar erleichtern, könnte aber auch dazu geführt haben, dass alle Probanden einfach "fertige" Abbildungen aus dem Gedächtnis abriefen, und sich deshalb weniger auf zeitliche und räumliche Merkmale konzentrierten. Dies könnte eine Erklärung für das relativ gute Abschneiden der linkshemisphärisch geschädigten Patienten sein: die Information konnte als "Umweg" über ihre semantische Bedeutung gespeichert werden, und musste nicht über eine "direkte Route" ausgeführt werden. Goldenberg geht davon aus, dass diese direkte Route bei linksseitig geschädigten Patienten gestört ist (11). Das Erstellen eines Bewegungskonzeptes würde den Patienten somit erleichtert, da sie sich an einer bereits im Geiste vorgefertigten Figur orientieren konnten. Dies könnte auch dazu geführt haben, dass viele Probanden, die Figur Ellipse eher als Kreis darstellten. Sie hielten sich möglicherweise an die geistige Vorgabe "Kreis". Die Annahme deckt sich mit der Erkenntnis, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten weniger Schwierigkeiten bei der Imitation von bedeutungsvollen als von bedeutungslosen Gesten haben (10).

Allerdings wählten wahrscheinlich alle Probanden diesen "Umweg". So kommt es zum Auftreten ähnlicher Fehler in allen Gruppen. Generell ist es leichter, eine Bewegung auszuführen, die sich an einem geistigen Muster orientiert. Man führe sich vor Augen, wie komplex allein die Darstellung eines Kreises ist, wäre man sich über die Bedeutung der Figur nicht bewusst. Dazu muss man wissen, dass man die Hand gleichzeitig nach oben bzw. unten und nach rechts bzw. links führen muss.

Die Annahme, dass die Patienten den "Umweg" über die Wortbedeutung wählten, könnte auch erklären, dass die Veränderungen der räumlichen Leistungsparameter nicht miteinander korrelierten. So konnten durch Apraxie bedingte Defizite wie die mangelnde Fähigkeit, ein Bewegungskonzept zu erstellen, kaschiert werden und es kam zum Auftreten eher allgemeiner Bewegungsveränderungen.

### *Bewegungsrichtung*

In vorliegender Studie sollten die Probanden die Armbewegungen in spiegelbildlicher Drehrichtung zum Untersucher ausführen.

Dabei zeigte sich, dass es linkshemisphärisch geschädigten Patienten am wenigsten gelang, die vorgegebene Drehrichtung einzuhalten (Tab. 5).

Für linkshemisphärisch geschädigte Patienten ist es offenbar schwieriger, Bewegungen in der vorgegebenen Richtung auszuführen. Dies stellt auch einen Teil des Bewegungskonzeptes dar. Da die linke Hirnhälfte dabei eine wichtige Rolle einnimmt (10, 11, 12, 13), ist es möglich, dass dies auch für Bewegungsrichtungen zutrifft. Allerdings könnten die Fehler bei dieser Untersuchung auch auf einen Händigkeitseffekt zurückzuführen sein: Es zeigte sich, dass nur linksseitig untersuchte Probanden Fehler begingen, während die rechtsseitig untersuchten Probanden fehlerfrei blieben. Fast alle der Probanden waren Rechtshänder.

## *Motorik, Zielbewegungen*

Bei Untersuchungen repetitiver Bewegungen zwischen zwei Zielfeldern mit variierender Bewegungsamplitude und Zielgröße hatten sich vor allem bei Patienten mit linksseitiger Hirnschädigung, die die Aufgabe mit der linken Hand ausführten, Defizite gezeigt (16, 17, 37, 38). Patienten mit rechtsseitiger Hirnschädigung waren seltener und nur in bestimmten Bewegungsphasen beeinträchtigt (1, 18, 37). Da LH-Patienten vor allem bei schnellen Bewegungen zu großen Zielfeldern im Vergleich zu Kontrollpersonen verlangsamt waren, wurde vermutet, dass der linken Hemisphäre eine besondere Rolle bei der Planung und Ausführung von open-loop Bewegungen zukommt, die nicht auf ein visuelles Feedback angewiesen sind. Nach Untersuchungen von Zielbewegungen unter Variationen des visuellen Feedbacks musste diese Hypothese allerdings revidiert werden, da trotz unterschiedlichen open loop Bedingungen ähnliche Defizite festgestellt wurden (17,19).

In Studien von Hermsdörfer hatten sich bei der Untersuchung von Zeigefingertapping bei ipsiläsionalen Zielbewegungen keine Unterschiede in der Bewegungsfrequenz zwischen links- und rechtsseitig geschädigten Patienten und den dazugehörigen Kontrollpersonen gezeigt (23). Bei der Korrelation von Parametern diadochokinetischer Bewegungen mit dem Apraxie-Score für Imitation hatte sich kein Einfluss von Apraxie auf ein ipsiläsionales Leistungsdefizit ergeben.

In vorliegender Studie sollten Zielbewegungen linkshemisphärisch geschädigter Patienten untersucht werden. Dabei sollten die Probanden mit dem Zeigefinger so schnell wie möglich zwei Zielscheiben berühren. Die beiden Scheiben waren unterschiedlich groß (zwei, bzw. fünf Zentimeter) und auf einem Brett auf einem dünnen Metallstab im Abstand von 30 Zentimetern befestigt.

Die linksseitig geschädigten Patienten führten die Zielbewegungen langsamer als ihre Kontrollgruppe aus und unterschieden sich dabei signifikant von ihnen (Abb. 31).

Möglicherweise kommt somit der linken Hemisphäre eine besondere Rolle bei der Steuerung von Bewegungen zu. Dies könnte auch Beeinträchtigungen bei der Imitation von Armbewegungen bedingen. Allerdings ist zu bedenken, dass die Zielbewegungen so schnell wie möglich ausgeführt werden sollten, was bei den Armbewegungen nicht der Fall war. Die linkshemisphärisch geschädigten Patienten zeigten in vorliegender Studie auch eine Beeinträchtigung der Leistungsparameter bei der langsamen Ausführung der Armbewegungen .

Jedoch zeigte sich, im Gegensatz zu der von Hermsdörfer durchgeführten Untersuchung (23), auch eine Verlangsamung der Bewegungen der rechtsseitig geschädigten Patienten (Abb. 31).

In der Studie von Hermsdörfer wurden nur einzelne Bewegungen auf ein Ziel untersucht. In vorliegender Studie handelte es sich um sich wiederholende Bewegungen auf zwei Ziele. Die Anforderung, die Bewegungen mehrmals hintereinander auszuführen, ist möglicherweise schwieriger. Die räumliche Komplexität erhöht sich bei zwei Zielen. Es handelt sich nicht nur um ein Ziel im Raum, das getroffen werden muss, sondern um zwei Ziele, die in einem bestimmten Abstand zueinander stehen. Dadurch erhöht sich die zu erbringende Denkleistung. Der Abstand zwischen beiden Zielen muss berechnet werden. Die Vermutung gesteigerter räumlicher Komplexität deckt sich auch mit der Tatsache, dass räumliche Bewegungen eher von der rechten Hirnhälfte gesteuert werden. Somit erschwert sich für die rechtsseitig geschädigten Patienten die Durchführung der Aufgabe im Gegensatz zu der Zielbewegung in der Studie von Hermsdörfer.

Die Mittelwerte der Frequenzen für das große und das kleine Ziel wurden mit dem Apraxie-Score für Imitation korreliert. Dabei zeigte sich keine Korrelation der Parameter. Es scheint also kein Zusammenhang mit Apraxie-Kriterien und Zielbewegungen zu bestehen. Dies belegt eine starke Rolle der dominanten Hemisphäre bei ipsilateralen Zielbewegungen ohne Einfluss von Apraxie-Kriterien, wie dies bereits in Studien von Hermsdörfer festgestellt wurde (23).

## 5. Zusammenfassung

Es ist bekannt, dass Patienten mit Apraxie nicht nur Schwierigkeiten beim Werkzeug - und Objektgebrauch, und der Pantomime des Objektgebrauchs haben, sondern auch bei der Imitation von Gesten. In Studien zeigte sich dies besonders für bedeutungslose Hand - und Armgesten (10, 11, 12, 13, 28, 36).

In vorliegender Studie wurde die Imitation bedeutungsloser Armgesten bei unilateraler Hirnschädigung untersucht.

Dabei wurden räumliche und zeitliche Bewegungsaspekte betrachtet und ihre Zusammenhänge zu Apraxie-Kriterien.

Es wurden 11 Patienten mit linkshemisphärischen und 10 mit rechtshemisphärischen Schädigungen untersucht sowie zwei gleich große Kontrollgruppen. Die Probanden sollten Armgesten imitieren. Dazu wurde ihnen auf einer Leinwand ein Video gezeigt, bei dem der Untersucher in Originalgröße Figuren vor seinem Körper "in die Luft zeichnete". Dabei handelte es sich um drei Figuren unterschiedlicher Komplexität (Linie, Ellipse und "liegende Acht"), die wiederholt (kontinuierlich) vorgeführt wurden. Jede der Figuren wurde "langsam" und "schnell" mit den Frequenzen von 0,5 und 1,0 Hz dargestellt. Die Probanden sollten die Bewegungen jeweils nach Beendigung der Vorführung einer Figur mit ihrer nicht-paretischen Hand in möglichst korrekter räumlicher und zeitlicher Darstellung imitieren.

Im Anschluss wurden bei den Patienten ein Wahrnehmungstest durchgeführt, bei dem die Patienten aus unterschiedlichen Figuren die vorgeführten herausuchen sollten. So konnte überprüft werden, ob die Probanden die zu imitierenden Figuren erkannten.

Außerdem wurden Zielbewegungen auf ein großes und ein kleines Ziel untersucht. Die Patienten hatten dabei die Anweisung, die Aufgabe so schnell wie möglich auszuführen

Alle Bewegungen wurden durch ein akustisches Ultraschall-System aufgezeichnet.

Es zeigte sich, dass linkshemisphärisch geschädigte Patienten die größten Veränderungen der räumlichen Bewegungsparameter aufwiesen. Somit wird

eine maßgebliche Beteiligung der linken Hemisphäre für die räumliche Darstellung bei der Imitation kontinuierlicher Armgesten vermutet. Da jedoch auch bei rechtsseitig geschädigten Patienten Veränderungen der Bewegungsaspekte mit ähnlichen Merkmalen, wenn auch in geringerer Ausprägung, bestanden, scheint dabei auch der rechten Hemisphäre eine gewisse Bedeutung zuzukommen. Auch bei den rechts- und linksseitig untersuchten gesunden Probanden traten in der Tendenz ähnliche Veränderungen der Bewegungsparameter auf. Somit lässt sich zusammenfassend formulieren, dass bei der Imitation bedeutungsloser Armgesten vermutlich beide Hemisphären beteiligt sind, der linken jedoch eine maßgeblichere Rolle zukommt.

In Bezug auf die zeitlichen Parameter zeigte sich für die linkshemisphärisch geschädigten Patienten, dass diese am wenigsten zwischen den beiden vorgegebenen Geschwindigkeiten unterschieden. Möglicherweise ist die Differenzierung zwischen Geschwindigkeiten, die als zeitlicher Aspekt auch eine wichtige Rolle bei der Bewegungsausführung einnimmt, bei apraktischen Patienten beeinträchtigt. Jedoch traten auch die zeitlichen Veränderungen der Bewegungsaspekte in moderater Form bei allen Probanden auf. Somit scheint auch hier die rechte Hemisphäre beteiligt zu sein.

Die Veränderungen der räumlichen und zeitlichen Leistungsmaße korrelierten nicht mit Apraxie-Kriterien. Somit ist fraglich, ob die Veränderungen der Bewegungsparameter mit typischen Manifestationen von Apraxie, vor allem bei Imitation, zusammenhängen. Es könnte es sich um von Apraxie unabhängige allgemeine Bewegungsartefakte handeln. Möglicherweise kam es jedoch zu einer Kaschierung apraktischer Bewegungsstörungen bei bedeutungslosen Armgesten, indem die Patienten einen "Umweg" über das semantische Gedächtnis zur Darstellung der Figuren wählten.

Fast alle Patienten waren in der Lage, die Figuren zu erkennen. Schwierigkeiten bei der Imitation der Armgesten scheinen also nicht auf einer mangelnden Wahrnehmungsfähigkeit der Patienten zu beruhen.

Fast allen Patienten gelang es, die Figuren in ihrer Grundstruktur erkennbar zu imitieren. Dies deckt sich nicht mit Ergebnissen zu Studien bei der Imitation von bedeutungslosen Handgesten, bei denen die Patienten mehr Schwierigkeiten aufwiesen (10, 11, 12, 13). Somit scheint die Imitation von

Armbewegungen einfacher auszuführen zu sein als die Imitation von Handgesten. Bei der Imitation einer Handstellung ist es wichtig, die Hand in Bezug zum eigenen Körper bringen zu können. Bei der Imitation von Armbewegungen erfolgt die Darstellung im Raum und eher unabhängig zum eigenen Körper. Eine bei linkshemisphärisch geschädigten Patienten mangelnde Kenntnis über die Relation der Körperglieder zueinander ist bei der Imitation von Armgesten möglicherweise nicht vorrangig.

Es ist auch denkbar, dass die verbesserte Imitation der Armgesten in vorliegender Studie durch die wiederholte Vorführung der Armbewegungen bedingt ist. Dadurch könnte sich im Gegensatz zu einfach vorgeführten Armgesten das Erstellen eines Bewegungskonzeptes durch einen vereinfachten Aufbau der Bewegungsausführung im Arbeitsgedächtnis erleichtern. Da bei den Imitationen der Probanden keine Leistungssteigerung zu beobachten war, scheint die verbesserte Ausführung der Imitation nicht durch das wiederholte Ausführen der Gesten sondern durch die wiederholte Darstellung der Gesten bedingt zu sein.

Bei untersuchten Zielbewegungen ergab sich kein Zusammenhang zwischen Apraxie-Kriterien und einer verlangsamten Frequenz bei Zielbewegungen linkshemisphärischer Patienten. Wahrscheinlich nimmt die ipsilaterale Hemisphäre bei Zielbewegungen eine dominante Rolle ein. Durch Zielbewegungen auf zwei Ziele erhöht sich die räumliche Komplexität der Aufgabe. Deshalb kommt es auch bei rechtshemisphärisch geschädigten Patienten zu einer Verlangsamung der Frequenz der Zielbewegungen.

Zusammengefasst zeigte sich, dass eine linkshemisphärische Schädigung die Imitation von bedeutungslosen Armgesten beeinträchtigt, der Zusammenhang zu typischen Apraxietests bleibt jedoch unklar. Darüber hinaus sind auch andere rechtsseitige Hirnareale vermutlich maßgeblich beteiligt.

## 6. Literaturverzeichnis

- (1) Baskett J.J., Marshall H.J., Broad J.B., Owen P.H., Green G. The good side after stroke: ipsilateral sensory motor function needs careful assessment. *Age Ageing* 25 (1996) 239-244
- (2) Buxbaum L. J., Giovanetti T., Libon D. The Role of Dynamic Body Schema in Praxis: Evidence from Primary Progressive Apraxia. *Brain and Cognition* 44 (2000) 166-191
- (3) Clark M-A., Merians A. S., Kothari A., Poizner H., Macauley B., Gonzalez Rothi L., J., Heilmann K., M. Spatial planning deficits in limb apraxia. *Brain* 117 (1994) 1093-1106
- (4) Damasio H., Damasio A.R. "Lesion analysis in neuropsychology"  
Oxford University Press, New York, Oxford, 1989
- (5) De Renzi E., Pieczuro A.R., Vignolo L.A. Ideational apraxia: a quantitative study. *Neuropsychologia* 6 (1968) 41-52
- (6) Geschwind N. Disconnexion syndromes in animals and man. *Brain* 88 (1965) 237-294, 55-644
- (7) Goldenberg G. "Neuropsychologie: Grundlagen, Klinik, Rehabilitation"  
Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2002, 3. Auflage, 2-12, 124-148
- (8) Geschwind N., Damasio A.R. Apraxia. *Clinical Neurology* Vol 1, 49 (1985) 423-432
- (9) Goldenberg G. Praxie. Kap. 12 (1992) 1-20
- (10) Goldenberg G. Defective imitation of gestures in patients with damage in the left or right hemispheres. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 61 (1996) 176-180
- (11) Goldenberg G., Hagmann S. The meaning of meaningless gestures: a study of visuo-imitative apraxia. *Neuropsychologia* 35 (1997) 333-341
- (12) Goldenberg G. Imitating gestures and manipulating a mannikin - the representation of the human body in ideomotor apraxia. *Neuropsychologia* 33 (1995) 63-72

- (13) Goldenberg G. Matching and imitation of hand and finger postures in patients with damage in the left or right hemisphere. *Neuropsychologia* 37 (1999) 559-566
- (14) Goldenberg G. Hartmann, K., Schlott, I. Defective pantomime of object use in left brain damage: apraxia or asymbolia? *Neuropsychologia* 41 (2003) 1565-1573
- (15) Goldenberg G., Hagmann S. Tool use and mechanical problem solving in apraxia. *Neuropsychologia* 36, 7 (1998) 581-589
- (16) Haaland K.Y., Harrington D.L., Yeo R. The effects of task complexity on motor performance in left and right CVA patients. *Neuropsychologia* 25 (1987) 783-794
- (17) Haaland K.Y. Limb sequencing deficits after left but not right hemisphere damage. *Brain Cogn.* 24 (1994) 104-122
- (18) Haaland K.Y. The role of the hemispheres in closed loop movements. *Brain Cogn.* 9 (1989) 158-180
- (19) Haaland K.Y., Harrington D.L. Hemispheric asymmetry of movement. *Curr. Opin. Neurobiol.* 6 (1996) 796-800
- (20) Harrington D.L., Haaland K.Y. Representations of actions in ideomotor limb apraxia: clues from motor programming and control. In: *Apraxia: The Neuropsychology of action*. Rothi, L.J.G., Heilmann K.M. (Hrsg.), 9 (1997) 111-147, *East Sussex: Psychology Press*
- (21) Heilmann K. M. Apraxia. In: Heilman K., M., Valenstein, E., Herausgeber. *Clinical neuropsychology* (1979) 159-185
- (22) Hermsdörfer J., Mai N., Spatt J., Marquardt C., Veltkamp R., Goldenberg G. Kinematic analysis of movement imitation in apraxia. *Brain* 119 (1996) 1575-1586
- (23) Hermsdörfer, J. Ipsiläsionale Störungen der motorischen Kontrolle nach Schädigung der dominanten Hemisphäre und deren Relation zu Apraxien. *Kumulative Habilitationsschrift* (2003)
- (24) Hermsdörfer J., Blankenfeld H., Goldenberg G. The dependence of ipsilesional aiming deficits on task demands, lesioned hemisphere, and apraxia. *Neuropsychologia* 40 (2003) 2100-2115
- (25) Lehmkuhl G., Poeck K. A disturbance in the conceptual organization of actions in patients with ideational apraxia. *Cortex* 17 (1983) 153-158

- (26) Liepmann H. Die linke Hemisphäre und das Handeln. *Münchener medizinische Wochenschrift* 52, 2b (1905) 2375-2378
- (27) Liepmann H. "Drei Aufsätze aus dem Apraxiegebiet: die linke Hemisphäre und das Handeln" Karger, Berlin, 1908
- (28) Platz T., Mauritz K.-H. Human Motor Planning, Motor Programming, and Use of New Task-relevant Information with Different Apraxic Syndromes. *European Journal of Neuroscience* 7 (1995) 1536-1547
- (29) Poeck K. "Neurologie" Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1987, 7. Auflage, 128-131
- (30) Poeck K., Lehmkuhl G., Willmes K. Axial movements in ideomotor apraxia. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 45 (1982) 1125-1129
- (31) Poeck K. The clinical examination for motor apraxia *Neuropsychologia* 24 (1986) 129-134
- (32) Poizner H., Mack L., Verfaellie M., Gonzalez Rothi L. J., Heilmann K. M. Three-dimensional computergraphic analysis of apraxia. *Brain* 113 (1990) 85-101
- (33) Poizner H., Clark M. A., Merians A. S., Macauley B., Gonzalez Rothi L. J., Heilmann K. M. Left Hemispheric Specialization for Learned Skilled and Purposeful action. *Neuropsychology* 12 (1998) 163 - 182
- (34) "Psyhyrembel: Klinisches Wörterbuch" Walter de Gruyter Verlag, Berlin, New York, 1998, 258. Auflage
- (35) Salamasso D., Longoni A.M. Problems of assessment of hand preference. *Cortex* 21 (1985) 533-549
- (36) Weiss P.H., Dohle C. Binkofski F., Schnitzler A., Freund H.-J., Hefter H. Motor impairment in patients with parietal lesions: disturbances of meaningless arm movement sequences. *Neuropsychologia* 39 (2001) 397-405
- (37) Winstein C.J., Pohl P.S. Effects of unilateral brain damage on the control of goal-directed hand movements. *Exp. Brain Res.* 105 (1995) 163-174
- (38) Wyke, M. Effect of brain lesions on the rapidity of arm movement. *Neurology* 17 (1967)1113-1120

## **Danksagung**

Für die sehr zuverlässige und freundliche Betreuung gilt mein Dank Herrn PD J. Hermsdörfer und allen anderen Mitarbeitern der Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie München.

Herzlich danken möchte ich auch Sophia Hentze und meinem Vater Peter Pöttsch.

# Lebenslauf

## Marian Cornelius Pötzsch

Geburtsdatum/-ort: 22.01.1976  
Staatsangehörigkeit: Deutsch  
Familienstand: Verheiratet  
Kinder: 2 Kinder

### Schullaufbahn

1983 - 1996 Grundschole und Gymnasium in Gilching  
Abiturnote: 2,2

### Studium

03/1998 - 12/1999 Medizinstudium in Buenos Aires an der  
Universidad Abierta Interamericana  
05/1999 - 05/2005 Medizinstudium an der LMU München  
03/2001 Physikum  
03/2002 1. Staatsexamen  
03/2004 2. Staatsexamen  
03/2005 3. Staatsexamen  
Abschlussnote: 2,99

### Praktisches Jahr

Neurologie: Krankenhaus München-Harlaching  
Chirurgie: Hospital Universitario de Granada, Spanien  
Innere Medizin: Krankenhaus München Neuperlach

### Arbeitsverhältnisse

Seit 05/2006 Innere Medizin, Privatklinik Schindelbeck, Herrsching  
2006 Allgemeine Chirurgie, Krankenhaus Diakoniewerk, München  
2005 Plastische Chirurgie, Praxis Dr. Neuhahn, München