

Kinematische Analyse  
von Ziel- und Greifbewegungen  
der dominanten und non-dominanten  
Hand  
bei beiden Geschlechtern



Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen  
Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität  
zu Kiel

vorgelegt von

ALEXANDRA GROSSKOPF

Kiel  
2004

Referent/in:  
Korreferent/in:  
Tag der mündlichen Prüfung:  
Zum Druck genehmigt: Kiel, den

Dr. Schröder  
Prof. Dr. Haase  
15. Dezember 2004  
15. Dezember 2004

Der Dekan

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> -----	<b>1</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> -----	<b>3</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> -----	<b>5</b>
<b>1. EINLEITUNG</b> -----	<b>7</b>
1.1 Einordnung der Arbeit-----	7
1.2 Allgemeine Organisation von Reich- und Greifbewegungen-----	8
1.3 Anatomie der oberen Extremitäten-----	12
1.3.1 EMG-----	17
1.4 Die beiden Hemisphären-----	18
1.4.1 Geschlechtstypische Unterschiede im Gehirn-----	23
1.4.2 Geschlechtsdifferenzen in mentalen Tests-----	26
1.5 Ziele der Arbeit-----	30
<b>2. MATERIAL UND METHODEN</b> -----	<b>33</b>
2.1 Allgemeine organisatorische Bedingungen-----	33
2.2 Beschreibung der Stichprobe-----	34
2.3 Neurologisch-motorische und psycho-soziale Untersuchungen zur Lateralität-----	34
2.3.1 Handpräferenz-Fragebogen-----	34
2.3.2 Purdue-Pegboard-----	34
2.3.3 Schlauchfiguren-----	35
2.3.4 Paper-Test-----	36
2.3.5 Wortflüssigkeits-Test-----	36
2.3.6 Das Bem-Sex-Role Inventory (BSRI)-----	37
2.4 Versuchsaufbau-----	38
2.5 Auswertung-----	42
2.5.1 Berechnung der Händigkeit-----	42
2.5.2 OWIT-----	43
2.5.3 Statistik-----	49
<b>3. ERGEBNISSE</b> -----	<b>51</b>
3.1 Neurologisch-motorische und psycho-soziale Untersuchungen zur Lateralität-----	51
3.1.1 Händigkeit-----	51
3.1.2 Geschlechterunterschiede-----	54
3.1.2.1 Paper-Test & Purdue-Pegboard-Test-----	54
3.1.2.2 Schlauchfiguren-Test-----	55
3.1.2.3 „Word-fluency“-Test-----	56
3.1.2.4 Selbsteinschätzungs-Test-----	56
3.2 Kinematische Analyse der Hinbewegung-----	57
3.2.1 Originaldaten-----	57
3.2.2 Reaktionszeit-----	59
3.2.3 Bewegungsdauer-----	61
3.2.4 Streuung der Bewegungsdauer-----	63
3.2.5 Maximalgeschwindigkeit-----	65

---

3.2.6 Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer	68
3.2.7 Mittlere Geschwindigkeit	70
3.2.8 Handgelenkshöhe	73
3.2.9 Maximale Fingeröffnung	76
3.2.10 Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung relativ zur Bewegungsdauer	80
3.2.11 Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit	81
3.3 Kinematische Analyse der Rückbewegung	87
3.3.1 Rückzugszeit	87
3.3.2 Einfügzeit	89
3.3.3 Bewegungsdauer	91
3.3.4 Maximalgeschwindigkeit	94
3.3.5 Mittlere Geschwindigkeit	96
3.3.6 Handgelenkshöhe der Rückbewegung	98
3.3.7 Suchweg	100
3.4 Zusammenfassung der Wirkung von Geschwindigkeit	104
3.5 Zusammenfassung der Wirkung von Händigkeit	105
3.6 Zusammenfassung der Wirkung von Beleuchtung	106
3.7 Zusammenfassung der Wirkung von Geschlechtern	107
3.8 Tabellarische Zusammenfassung der Wirkung von Geschlechtern	109
3.8.1 Hinbewegung	109
3.8.2 Rückbewegung	111
<b>4. DISKUSSION</b>	<b>113</b>
4.1 Neurologisch-motorische und psycho-soziale Untersuchungen zur Lateralität	113
4.2. Analyse der Ziel- und Greifbewegung	119
4.2.1 Entwicklungsaspekt des Greifens	120
4.2.2 Geschwindigkeitsanalyse	121
4.2.3 Der Einfluss des Lichtes auf das Greifen	122
4.2.4 Handdominanz	125
4.2.5 Neurophysiologie	126
4.2.6 Geschlechtsunterschiede	128
<b>5. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>135</b>
<b>6. SUMMARY</b>	<b>137</b>
<b>7. LITERATUR</b>	<b>139</b>
<b>8. ANHANG</b>	<b>155</b>
7.1 Zeichnungen vom Gehirn	155
7.2 Cerebrale Lateralisation im Überblick	157
7.3 Aufgaben zu Geschlechtsdifferenzen	158
7.4 Handpräferenz-Fragebogen	159
7.5 Schlauchfiguren	160
7.6 Paper-Test	160
7.7 Das Bem-Sex-Role Inventory (BSRI)	161
7.8 Glossar	162
<b>9. DANKSAGUNG</b>	<b>165</b>
<b>10. LEBENSLAUF</b>	<b>167</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ziel- und Greifbewegungen (nach Jeannerod)-----	10
Abb. 2: Skelett der rechten Handknochen -----	14
Abb. 3: Die Hand im Präzisionsgriff -----	16
Abb. 4: Ziel- und Greifbewegung. Der kortikale Verarbeitungsweg -----	19
Abb. 5: Purdue-Pegboard in Gebrauch mit der rechten Hand-----	35
Abb. 6: Aufbau der Kameras im Greiflabor (Aufnahme der rechten Hand) -	39
Abb. 7: Ausgangshaltung der Hand für die Greifbewegung.Fotoserie -----	42
Abb. 9: Graphische Darstellung der einzelnen Parameter der Hin- und Rückbewegung ----	45
Abb. 10: Handgeschwindigkeit und Griffapertur-----	48
Abb. 11: Erläuterungen zur Statistik-----	49
Abb. 12: a) Paper-Test, b) Peg-Board -----	52
Abb. 13: Schlauchfiguren-Test 1 -----	55
Abb. 14: Schlauchfiguren-Test 2 -----	55
Abb. 15: „Word-fluency“-Test -----	56
Abb. 16: Fingeröffnung der rechten Hand (schnell) -----	58
Abb. 17: Geschwindigkeit der rechten Hand (schnell)-----	58
Abb. 18: Fingeröffnung der rechten Hand (normal) -----	58
Abb. 19: Geschwindigkeit der rechten Hand (normal)-----	58
Abb. 20: Fingeröffnung der rechten Hand (langsam) -----	58
Abb. 21: Geschwindigkeit der rechten Hand (langsam)-----	58
Abb. 22: Verhältnis Geschwindigkeit-Fingeröffnung der rechten Hand (schnell) -	59
Abb. 23: Verhältnis Geschwindigkeit-Fingeröffnung der rechten Hand (normal) -	59
Abb. 24: Verhältnis Geschwindigkeit- Fingeröffnung der rechten Hand (langsam)-	59
Abb. 25: Reaktionszeit -----	61
Abb. 26: Bewegungsdauer-----	63
Abb. 27: Streuung der Bewegungsdauer- -----	65
Abb. 28: Maximale Geschwindigkeit der Hand -----	67
Abb. 29: Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer ----	70
Abb. 30: Mittlere Geschwindigkeit der Hand -----	73
Abb. 31: Höhe der Hand-----	75
Abb. 32: Maximale Fingeröffnung-----	77
Abb. 33: Korrelation zwischen der Bewegungsdauer und dem maximalen Fingerabstand----	78
Abb. 34: Korrelation zwischen der Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks und dem maximalen Fingerabstand -----	79
Abb. 35: Zeitpunkt des maximalen Abstands zwischen Zeigefinger und Daumen relativ zur Bewegungsdauer -----	81
Abb. 36: Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit, Vergleich zwischen „rechts“ und „links“-----	83
Abb. 37: Fingerabstand bei Maximalgeschwindigkeit, Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“) -----	84
Abb. 38: Korrelation zwischen der Bewegungsdauer und dem Fingerabstand bei Maximalgeschwindigkeit-----	85
Abb. 39: Korrelation zwischen der Maximalgeschwindigkeit des Hand- gelenks und dem Fingerabstand bei Maximalgeschwindigkeit ----	85
Abb. 40: Rückzugszeit -----	88
Abb. 41: Einfügzeit, Vergleich zwischen „links“ und „rechts“ -----	90
Abb. 42: Einfügzeit, Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ -----	91

Abb. 43: Bewegungsdauer der Rückbewegung, Vergleich zwischen „links“ und „rechts“-----	93
Abb. 44: Bewegungsdauer der Rückbewegung, Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“-----	94
Abb. 45: Maximalgeschwindigkeit der Hand bei der Rückbewegung -----	96
Abb. 46: Mittlere Geschwindigkeit der Hand bei der Rückbewegung -----	98
Abb. 47: Höhe der Hand bei der Rückbewegung-----	100
Abb. 48: Suchweg der Rückbewegung-----	101
Abb. 49: Korrelation zwischen dem Suchweg und der Einfügzeit-----	102
Abb. 50: Suchweg der Rückbewegung -----	103
Abb. 51: Vergleich der Gesamtwerte Hinbewegung-----	107
Abb. 52: Vergleich der Gesamtwerte Rückbewegung-----	108
Abb. 53: Blick von oben und von der Seite auf das menschliche Gehirn-----	155
Abb. 54: Rindenfelder nach Brodmann und funktionelle Gliederung der Hirnrinde---	156
Abb. 55: Verschiedene Aufgaben, bei denen sich Geschlechterdifferenzen zeigen -	158
Abb. 56: Beispiel Schlauchfiguren -----	160
Abb. 57: Paper-Test Arbeitsbogen-----	160

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Indizes [%] des Fragebogens und der Händigkeitstests -----	53
Tabelle 2: Reaktionszeit -----	60
Tabelle 3: Bewegungsdauer -----	62
Tabelle 4: Streuung der Bewegungsdauer -----	64
Tabelle 5: Maximale Geschwindigkeit -----	66
Tabelle 6: Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer --	68
Tabelle 7: Mittlere Geschwindigkeit -----	71
Tabelle 8: Maximale Höhe der Hand -----	74
Tabelle 9: Maximale Fingeröffnung -----	77
Tabelle 10: Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung relativ zur Bewegungsdauer	80
Tabelle 11: Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit -----	82
Tabelle 12: Rückzugszeit -----	87
Tabelle 13: Einfügzeiten -----	89
Tabelle 14: Bewegungsdauer der Rückbewegung -----	92
Tabelle 15: Maximalgeschwindigkeit der Rückbewegung -----	95
Tabelle 16: Mittlere Geschwindigkeit der Rückbewegung -----	97
Tabelle 17: Handgelenkhöhe der Rückbewegung -----	99
Tabelle 18: Suchweg -----	101
Tabelle 19: Mittelwerte, Standardabweichung und Spannweiten, Hinbewegung	109
Tabelle 20: Mann-Whitney-Test, Frauen versus Männer, Hinbewegung --	110
Tabelle 21: Mittelwerte, Standardabweichung und Spannweiten, Rückbewegung -	111
Tabelle 22: Mann-Whitney-Test, Frauen versus Männer, Rückbewegung	112
Tabelle 23: Cerebrale Lateralisation bei rechtshändigen Personen -----	157





# 1. Einleitung

## 1.1 Einordnung der Arbeit

Die Steuerung der Hand ist eine der differenziertesten und am höchsten entwickelten Funktionen des menschlichen Zentralnervensystems (ZNS), die der Mensch in seinem motorischen Repertoire hat. Sie ermöglicht nicht nur die Durchführung Ziel gerichteter komplexer motorischer Funktionen, wie z.B. das Ergreifen von Gegenständen, das Fassen eines Handgriffes oder den Gebrauch von Werkzeug, sondern auch die Kommunikation über Gestik und Schreiben. Zirka 90% der Menschen bevorzugen die rechte Hand (Corballis, 1997). Rechtshänder zeigen üblicherweise eine bessere Leistung mit ihrer dominanten Hand. Die rechte Hand ist aber nicht immer geschickter als die linke, denn die Geschicklichkeit hängt sowohl vom Schwierigkeitsgrad der Aufgaben ab, als auch von der Art der Bewegung, ob großräumig oder feinsequentiell. Wenn die Bewegungen komplexer sind und mehr feinmanipulatorische Fähigkeiten erfordern, ist die dominante Hand typischerweise schneller und präziser.

In der vorliegenden Studie werden zielgerichtete Greifbewegungen der dominanten und nicht-dominanten Hand mittels optoelektronischer Bewegungsanalyse unter verschiedenen Bedingungen vermessen und miteinander verglichen. Diese Studie liefert eine Basis von physiologischen Vergleichsdaten, welche herangezogen werden kann, um Handfunktionsstörungen mit der Methode der Bewegungsvermessung objektiv zu beurteilen. Störungen von Ziel- und Greifbewegungen, wie sie etwa nach Läsionen des motorischen Kortex auftreten, führen oft zu schwerwiegenden funktionellen Behinderungen.

Die Arbeitsgruppe „Motorik“ des Physiologischen Instituts der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel beschäftigt sich seit langem mit Fragen zur Organisation der Willkürmotorik. Sie setzt sich zusammen aus vier Wissenschaftlern (Prof. Dr. M. Illert, PD Dr. J.-P. Kuhtz-Buschbeck, wissenschaftlicher Assistent; Dr. B. Hoppe, wissenschaftliche Assistentin; Dipl. Biol. A. Grosskopf, wissenschaftliche Assistentin). Mehrere Doktoranden beschäftigen sich mit Fragestellungen zu diesem Thema. Systematische Studien zur normalen Entwicklung der Kinematik von Greifbewegungen bei Kindern verschiedener Altersgruppen wurden publiziert.

In einem zu dieser Arbeit parallel stattfindenden Projekt wurden der zeitliche Verlauf und das Ausmaß der Restitution von senso-motorischen Funktionen nach Schädel-Hirntraumen bei Kindern quantitativ ausgewertet (Hoppe 2003). Den Patienten ist es in den ersten posttraumatischen Wochen häufig nicht möglich, Ziel- und Greifbewegungen sicher und planvoll durchzuführen. In der Neurologischen Klinik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel unter der Leitung von Prof. Dr. G. Deuschl befasst man sich mit der Bewegungsanalyse von Arm- und Handbewegungen bei Parkinson-Patienten (Wenzelburger et al., 2000) und bei Tremorerkrankungen (Deuschl et al., 2000). Hierfür wird das gleiche optoelektronische Bewegungsanalysesystem benutzt, wie für die vorliegende Arbeit. Obwohl demnach die Methode bereits erfolgreich in der klinischen Forschung verwendet wird, fehlt bislang ein systematischer Vergleich der Ziel- und Greifbewegungen der dominanten und non-dominanten Hand. Ebenso fehlen systematische Vergleiche zwischen Frauen und Männern. Die vorliegende Arbeit soll diese Lücken schließen.

## **1.2 Allgemeine Organisation von Reich- und Greifbewegungen**

Vorformung der Hand, Manipulation von Gegenständen und Ertasten von Objekten basieren auf Erfahrung. Um die Interaktion zwischen der Hand und den meisten gebräuchlichen Gegenständen darzustellen, genügen vier Handformen: a) Anstoßen mit gestrecktem Zeigefinger, b) Fassen mit Daumen und Zeigefinger, c) Streicheln mit der Handfläche und d) Fassen mit

Gegenüberstellung aller Finger. Diese differenzierten Handformen bleiben bei der Vorformung und beim tatsächlichen Greifen erhalten (Pellegrino et al., 1989; Lederman & Klatzky, 1990).

Nach Jeannerod (1993) ist das Reichen eine recht primitive Form der Interaktion mit der Umwelt, die durch Bewegungen der proximalen Gelenke des Armes (Schulter, Ellenbogen) unter Berücksichtigung der räumlichen Beziehung zwischen Objekt und Körper stattfindet. Ein Beispiel für eine Reichbewegung ist das Zeigen mit der Hand auf einen Gegenstand. Die Reichbewegung setzt sich zusammen aus einer Beschleunigungs- und einer Bremsphase. Bei schnellen (Zeige-) Bewegungen ist das Geschwindigkeitsprofil gleichmäßig und symmetrisch, hier kann man also von einem 1:1 Verhältnis der beiden Phasen sprechen. Liegt die Betonung auf einer exakten Durchführung der Bewegung, so wird das Profil asymmetrisch. Diese Asymmetrie wird durch einen größeren Anteil der Bremsphase verursacht. Das Reichen ist eine Voraussetzung für das zielgerichtete Greifen und damit für Transport und Manipulation von Objekten. Greifen hingegen ist eine hochentwickelte Verhaltensform, die auf einer differenzierten Steuerung der Hand beruht, welche das koordinierte Zusammenspiel zwischen deren Knochen, Muskeln und Sehnen gewährleistet. Beim Greifen werden Fingerbewegungen durchgeführt, um die Hand entsprechend der Größe und der Gestalt des zu erfassenden Objektes zu formen. Die gezielte Greifbewegung geht dem Fassen und Betasten von Gegenständen, durch die taktile Informationen gewonnen werden, voraus.

Vereinfachend lassen sich zwei verschiedene Arten der Greifbewegung unterscheiden: der Präzisionsgriff und der Kraftgriff (Napier, 1956). Beide Muster können alternativ oder in Kombination für fast alle Objekte genutzt werden. Das Greifmuster wird demnach nicht nur durch die Form und die Größe eines Gegenstandes bestimmt, sondern auch durch die beabsichtigte Aktivität. Die Griffe unterscheiden sich anatomisch bezüglich der Haltung des Daumens und der Finger. Der Präzisionsgriff ist charakterisiert durch die Gegenüberstellung des Daumens (besonders der Kuppe) zu einem oder mehreren der restlichen Finger (Elliott & Connolly, 1984); er stellt die

genaueste Greifbewegung der Hände dar. Diese Eigenschaft ist nicht nur für die menschliche Hand spezifisch, sie wurde auch für Altweltaffen (Catarrhini) nachgewiesen (Christel, 1993, 1994; Christel et al., 1998; Christel & Fragaszy, 2000). Beim Kraftgriff sind die Finger gebeugt, so dass sie zusammen mit der Handfläche eine Art Klammer bilden. Der Daumen steht dabei den anderen Fingern nicht unbedingt gegenüber.

Gezieltes Greifen entsteht durch das koordinierte Zusammenspiel einer Reichbewegung („Handtransport“) mit einer gleichzeitigen Greifbewegung („Griffbildung“). Die Art des Griffes, den die Hand im Kontakt mit dem Objekt bildet, ist das Ergebnis einer motorischen Sequenz, die weit vor dem Greifen selbst beginnt. Die Formung der Finger setzt bereits während des Transportes der Hand zur Position des Objektes ein. Die Vorformung besteht zunächst aus einem vorwärts gerichteten Öffnen der Hand durch Streckung der Finger. Dann folgt das Schließen des Griffes, bis er beim Erfassen des Gegenstandes dessen Größe entspricht. Der Zeitpunkt der maximalen Grifföffnung liegt bei 60-70 % der Dauer des Reichens, also deutlich vor dem Zeitpunkt, zu dem die Finger den Gegenstand berühren (Jeannerod, 1981, 1984; Abb. 1).



Abb. 1: **Ziel- und Greifbewegungen.** Formierung des Griffes bei Annäherung der Hand an das Objekt (nach Jeannerod).

Man bezeichnet diese Zweiteilung des Greifens, d.h. das Öffnen und Schließen der Hand, als biphasisches motorisches Muster. Die Weite der Handöffnung während der Griffbildung ist abhängig von der Objektgröße, wobei der Abstand zwischen Daumen und Fingern bei der Objektannäherung größer ist als das Objekt selbst. Die Hand wird hauptsächlich durch Bewegung des Zeigefingers geschlossen. Die Position des Daumens relativ zur übrigen Hand bleibt dabei fast konstant (Wing & Fraser, 1983). Während der Vorformung wird der Größe des Objekts entsprechend ein „Gegenüberstellungsraum“ (aperture) hergestellt, den der Daumen und die Finger bilden. Das Objekt muss sich darin befinden, um beim Schließen des Griffs sicher gefasst zu werden. Die Hand hat dafür bestimmte bevorzugte Orientierungen. Sind mehrere identische Gegenstände innerhalb des erreichbaren Raumes an gleichmäßig verteilten Positionen plaziert, so behält die Hand beim Ergreifen im Bezug zum Arm annähernd dieselbe Stellung. Das heißt, dass im Prinzip der gesamte Arm bewegt wird, während das Handgelenk kaum verändert wird, um eine angemessene Position der Hand zu erreichen (Paulignan et al., 1991). Handbewegungen werden beim Greifen hauptsächlich durch visuelle Informationen über das Objekt vorbestimmt. Versuchspersonen führen jedoch auch beim Fehlen von visuellen Rückmeldungen, z.B. wenn die eigene Hand beim Greifen nicht sichtbar ist, das biphasische Muster der Griffbildung sowie eine Koordination von Reich- und Greifkomponenten korrekt durch. Auch beim Greifen nach einem bekannten Gegenstand im Dunkeln korreliert die Größe der maximalen Grifföffnung mit der Größe des Gegenstandes (Jeannerod, 1981, 1984). Dies ist ein Hinweis darauf, dass die kognitive Repräsentation des Objekts auch dann einen direkten Einfluss auf die motorische Steuerung der Hand ausübt, wenn der Gegenstand im Moment des Greifens nicht gesehen wird.

### 1.3 Anatomie der oberen Extremitäten

#### Proximale Komponente:

Die obere Gliedmaße ist beim Menschen als Greiforgan ausgebildet. Sie zeigt gegenüber der als Stützorgan tätigen unteren Gliedmaße eine große Beweglichkeit. Die Reichbewegung ist vor allem durch Bewegungen proximaler Gelenke gekennzeichnet. Die Vielfalt von Bewegungsrichtungen wird erstens ermöglicht durch die Beweglichkeit des Schulterblattes und zweitens durch das Übergreifen der Gliedmaßenmuskeln auf den Rumpf. Die Schultermuskeln ziehen vom Schultergürtel über das Schultergelenk zum *Humerus*. Der *Musculus deltoideus* entspringt breitbasig gegenüber dem Ansatz des *M. trapezius* vom *akromialen* Drittel der *Clavicula*, vom *Acromion* und von der *Spina scapulae* und verjüngt sich zum Ansatz an der *Tuberositas deltoidea* des *Humerus*. Die Erhebung des Armes bis zur Horizontalen erfolgt durch den *M. deltoideus* und den *M. supraspinatus*. Zu den Muskeln des Oberarms gehören als Beuger die ventral liegenden *M. biceps brachii* (Beugung im Ellenbogengelenk), *M. coracobrachialis* (hebt den Arm vorwärts und adduziert ihn), *M. brachialis* (Armbeuger im Ellenbogengelenk) sowie als Strecker der dorsal liegende *M. triceps brachii* (streckt im Ellenbogengelenk), als dessen distale Fortsetzung der *M. anconaeus* fungiert. Die Beugung im Ellenbogengelenk wird unterstützt durch die am Oberarm entspringenden Muskeln des Unterarms (*M. brachioradialis*, *Mm. extensores carpi radialis longus et brevis*, *M. pronator teres*, *M. palmaris longus*, *M. flexor carpi radialis*). Diese Unterarmmuskeln sind an der Beugung im Ellenbogengelenk mit etwa 30% beteiligt. Hieraus erfolgt ein Überwiegen der Beugung in diesem Gelenk gegenüber der Streckung. Dadurch lassen sich die häufigen Beugestellungen im Ellenbogengelenk bei Leichenstarre und bei spastischen Lähmungen erklären (Waldeyer & Mayet, 1986). Das Ensemble der aktivierten Muskeln erzeugt die Kraft, welche die Hand gegen Schwer- und Trägheitskräfte mit der gewünschten Geschwindigkeit, Richtung und Distanz in die neue Position bringt. Die Fähigkeit zur Koordination der proximalen Drehmomente beim Reichen entwickelt sich schon im Säuglingsalter (Konczak et al., 1997).

### Distale Komponente:

Die Einstellung der Hand zum Objekt und die Vorformung der Finger beinhalten kontrollierte Bewegungen distaler Gelenke. Im proximalen und distalen Radioulnargelenk erfolgen die Drehbewegungen zwischen *Radius* und *Ulna*. Man bezeichnet die Umwendebewegungen des Unterarms als Pronation bzw. Supination. Das maximale Ausmaß dieser Bewegung beträgt insgesamt 120°-140°. In der Supinationsstellung liegen die Unterarmknochen parallel nebeneinander, die Hohlhand zeigt aufwärts, in der Pronationsstellung sind *Radius* und *Ulna* gekreuzt, die Hohlhand ist abwärts gerichtet. Pro- und Supinationsbewegungen werden im täglichen Leben sehr häufig ausgeführt. Sie verleihen der Hand einen hohen Grad an Bewegungsfreiheit und ermöglichen ihren vielfältigen Einsatz. Das Greifen erfolgt meist mit pronierter Handhaltung.

Die Hand ist der beweglichste Körperteil des Menschen und besteht aus 27 Handknochen, 28 Gelenken und 33 Muskeln, die im folgenden Abschnitt näher erläutert werden.

### Die Knochen

Die Handwurzel (*Carpus*) besteht aus acht Handwurzelknochen (*Ossa carpi*), die wie ein Mosaik aus kleinen gedrungenen Knochen wirken. Sie sind in zwei Reihen zu je vier Knochen angeordnet und werden von der Daumen-*radial*) nach der Kleinfingerseite (*ulnar*) gezählt:

Kahnbein (*Os scaphoideum*), Mondbein (*Os lunatum*), Dreiecksbein (*Os triquetrum*), Erbsenbein (*Os pisiforme*), Großes Vieleckbein (*Os trapezium*), kleines Vieleckbein (*Os Trapezoideum*), Kopfbein (*Os capitatum*), Hakenbein (*Os hamatum*). Das Kahnbein, Mondbein und Dreiecksbein weisen auf ihrer proximalen Seite jeweils eine Gelenkfläche auf. Zusammen mit der Gelenkfläche der Speiche bilden sie das proximale Handgelenk. Das große Vieleckbein, kleine Vieleckbein, Kopfbein und Hakenbein weisen auf der distalen Seite jeweils eine Gelenkfläche auf und bilden so das distale Handgelenk. Es zeigt sich ein wellenförmiger Gelenkspalt zwischen diesen beiden Gelenken. Morphologisch sind das proximale und das distale

Handgelenk selbständige Gelenke, funktionell jedoch bilden beide eine Einheit. In den Handgelenken ist die Summe der Hauptbewegungen eine Kreiselung (Zirkumduktion). Eine durch den Mittelfinger gelegte Achse umfährt bei maximaler Ausnutzung des Bewegungsspielraums einen Kegelmantel, den sogenannten Zirkumduktionskegel. Beim Greifen orientiert die Einstellung des Handgelenks die Apertur der Finger zum Objekt.

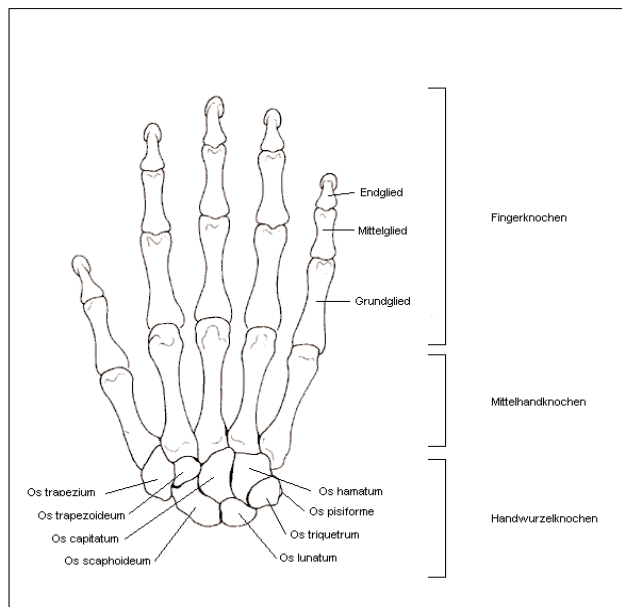


Abb. 2: **Skelett** der rechten Handknochen von dorsal.

Die Knochen der Mittelhand (*Ossa metacarpalia*) sind fünf kurze Röhrenknochen, die sich an die vielkantigen Handwurzelknochen anschließen. Dabei lassen sich die Knochen in drei Abschnitte untergliedern: Basis, Mittelstück (*Corpus*) und Kopf (*Caput*). Sie haben Gelenkflächen zur Verbindung mit der Handwurzel und den Fingerknochen. Der Mittelhandknochen des Daumens ist über ein Sattelgelenk, das Daumenwurzelgelenk, mit der Handwurzel verbunden. Die Gelenkfläche des großen Vieleckbeins stellt den Sattel dar. In diesem Gelenk wird der Daumen den anderen Fingern gegenübergestellt. Die restlichen Gelenke zwischen Handwurzel und Mittelhand sind durch straffe Bänder fixiert und praktisch unbeweglich.



Auf die fünf Mittelhandknochen folgen die 14 Fingerknochen (*Digit*). Die Finger bestehen mit Ausnahme des Daumens aus drei Fingergliedern (*Phalangen*), dem Grund- (*Phalanx proximalis*), Mittel- (*Phalanx media*) und Endglied (*Phalanx distalis*). Der Daumen besteht nur aus Grund- und Endglied. Die Fingerglieder sind über die Fingergrundgelenke (*Metacarpophalangealgelenke*), mit der Mittelhand, sowie untereinander in den Endgelenken (*Interphalangealgelenken*) beweglich verbunden. Die Grundgelenke sind außer bei dem Daumen Kugelgelenke, d.h. sie sind in alle drei Richtungen beweglich. Die Drehung um ihre Längsachse ist allerdings nur passiv und auch nur eingeschränkt möglich, weil für die Bewegung keine Muskulatur existiert und die Beweglichkeit durch Bänder eingeschränkt wird. Die Mittel- und Endgelenke der Finger sind reine Scharniergelenke. Aktiv kann man die Finger zur Handinnenfläche beugen (Flexion) und wieder strecken (Extension) sowie seitlich spreizen (Abduktion) und wieder zusammenführen (Adduktion).

### Die Muskulatur

Beuge- und Streckmuskeln bewegen sowohl die Hand als auch die Finger. Muskelbäuche verlaufen in jeweils zwei Schichten an Beuge- und Streckseite des Unterarms. Eine Schicht bewegt die gesamte Hand, die andere die einzelnen Finger. Alle langen Beuge- und Streckmuskeln entspringen am Unterarm und setzen mit langen dünnen Sehnen an Hand und Fingern an. Die Handfläche wird von einer festen Sehnenplatte überspannt. Damit in den Sehnen keine Reizung durch ständige Bewegung auftritt, sind sie von Sehnencheiden aus Bindegewebe umschlossen, so dass es zu einem reibungsarmen Gleiten kommt.

Sechs Muskeln bewegen die Hand im Handgelenk, wobei drei im *Epicondylus medialis* des Oberarmknochens entspringen und die Hand beugen. Vom *Epicondylus lateralis* gehen drei Streckmuskeln aus. Die Muskeln können die Finger neben der Beugung und der Streckung auch zur Daumenseite oder Kleinfingerseite hin bewegen. Muskeln (lange und kurze Fingermuskeln), die auf die Fingergelenke wirken, entspringen entweder am Arm oder an der Hand selbst.

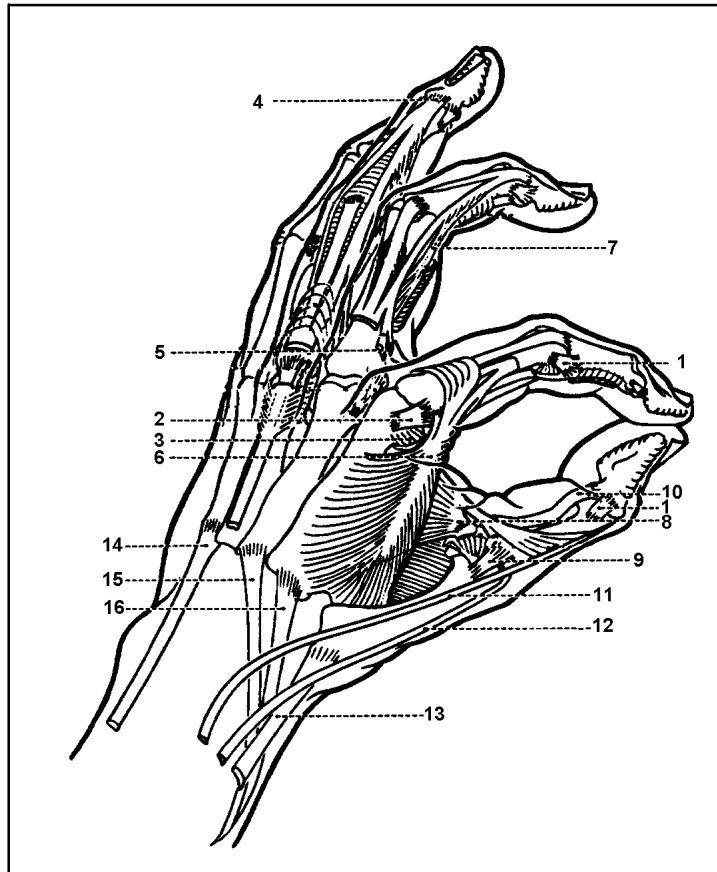


Abb. 3: **Die Hand im Präzisionsgriff.** 1: *Ligamentum collaterale (L.c.)* des proximalen *Interphalangealgelenkes*; 2: *L.c.* des *Metacarpophalangealgelenkes (MCPG)*; 3: zusätzliche Fasern des *L.c.*; 4: distaler Ansatz des *M. extensor digitorum*; 5: Sehne des *M. lumbricalis*; 6: *M. interosseus dorsalis primus* mit dem Ansatz und der Sehne des *M. lumbricalis primus*; 7: Sehne des *M. flexor digitorum superficialis*; 8: *M. adductor pollicis*; 9: *L.c. radialis* des MCPG des Daumens; 10: Sehne des *M. flexor pollicis longus*; 11: Sehne des *M. extensor pollicis longus*; 12: Sehne des *M. extensor pollicis brevis*; 13: Sehne des *M. abductor pollicis longus*; 14: Sehne des *M. extensor carpi ulnaris*; 15: Sehne des *M. extensor carpi radialis brevis*; 16: Sehne des *M. extensor carpi radialis longus* (Mod. nach: Wing et al. 1996, Hand and Brain, S. 41).

Die Muskeln, die die Finger in den Grundgelenken spreizen bzw. sie wieder aneinander ziehen, heißen *Musculi interossei dorsales* und *palmares*. Sie verlaufen zwischen Mittelhandknochen und erstem Fingerglied. Zusammen mit den *M. lumbricales* beugen sie die Finger im Grundgelenk und strecken sie im Mittel- und Endgelenk. Der kleine Finger besitzt auch einen Gegenstellmuskel (*M. opponens digiti minimi*). Er wirkt, wenn Daumen und kleiner Finger zueinander geführt werden. Die Kontraktion des *M. interosseus dorsalis primus* trägt zur Griffkraft beim Pinzettengriff wesentlich bei (Abb. 3, Nr. 6). Der Daumen besitzt einen eigenen langen Beugemuskel

(*M. flexor pollicis longus*), der mit seiner Sehne an dessen Endphalanx ansetzt. Nur die *Hominoiden* (= Menschenähnliche), zu denen die kleinen asiatischen Menschenaffen (*Hylobatiden*), die großen Menschenaffen (*Pongiden*) und die Menschen (*Hominiden*) zählen, verfügen über diesen Muskel. Dieser Muskel nimmt die Beugung und Opposition des Daumens vor und lässt besonders komplexe Bewegungen der Hand zu.

Weiterhin besitzt der Daumen dorsal einen kurzen und langen Strecker und einen langen Abspreizer (*M. abductor pollicis longus*). Aufgrund dieses langen Muskels kann sich der Daumen nach radial bewegen und so von den Fingern entfernen. Damit er sich den anderen Fingern gegenüberstellen kann, befindet sich auf der ventralen Seite des Daumens der Gegensteller (*M. opponens pollicis*), durch den Greifbewegungen möglich sind. Der Anzieher (*M. adductor pollicis*) führt den Daumen wieder an die anderen Finger heran. Der kurze Daumenbeuger (*M. flexor pollicis brevis*), der kurze Kleinfingerbeuger (*M. flexor digiti minimi brevis*), der kurze Daumenabspreizer (*M. abductor pollicis brevis*) und der kurze Kleinfingerabspreizer (*M. abductor digiti minimi*) ziehen zum Daumen und zum kleinen Finger. Diese Muskeln entspringen am *Retinaculum flexorum* (Bertolini et al., 1982).

### 1.3.1 EMG

Bei den EMG-Untersuchungen von Hepp-Reymond, Huesler und Maier (1996) konnte gezeigt werden, dass eine Vielzahl von Handmuskeln beim Präzisionsgriff aktiv sind. Die untersuchten 15 Handmuskeln können in drei Kategorien eingeteilt werden: Die *intrinsischen* Muskeln (*M. interosseus dorsalis primus*, *M. interosseus palmares primus*, *M. lumbricales primus*) und die langen Beugemuskeln des Zeigefingers (*M. flexor digitorum profundus*, *M. flexor digitorum superficialis*) sowie die zwei *intrinsischen* Daumenmuskeln (*M. adductor pollicis*, *M. flexor pollicis brevis*) erfüllten die Anforderungen für Primärmuskeln. In fast allen Untersuchungen und bei allen Probanden zeigten die Primärmuskeln eine signifikante Korrelation mit der Griffkraft. In die zweite Gruppe fallen die anderen Thenarmuskeln (*M. opponens pollicis*, *M. abductor pollicis brevis*) und die äußeren Daumenmuskeln (*M. flexor pollicis longus*, *M. extensor pollicis longus*, *M.*

*extensor pollicis brevis*, *M. abductor pollicis longus*), da sie bei fast 50% der Untersuchungen signifikante Korrelationen mit der Kraft hatten und bei den höheren Kräften zuverlässig aktiviert werden konnten. Die langen Streckmuskeln des Zeigefingers (*M. extensor digitorum communis*, *M. extensor indicis*) zeigten fast keine Korrelationen mit der Kraft und konnten als Muskeln der dritten Kategorie eingestuft werden. Offensichtlich spielen die *intrinsic* Muskeln eine Hauptrolle in der Erzeugung von kleinen und fein abgestuften Kräften beim Greifen. Dagegen sagen Chao et al. (1989), dass die *extrinsic* Muskeln in der Regel die Produzenten der Hauptkraft sind, obgleich die *intrinsic* mehr Kraft für den Pinzettengriff als für den Kraftgriff aufbringen.

#### **1.4 Die beiden Hemisphären**

Die Steuerung der abgestuften Kontraktionen der verschiedenen Muskeln beim Greifen ist eine anspruchsvolle zentralnervöse Leistung, an der verschiedene Hirngebiete beteiligt sind (Ehrsson et al., 2000). Im Folgenden wird zunächst ein anatomischer Überblick gegeben.

Der Neokortex besteht aus zwei annähernd symmetrischen Hemisphären, einer rechten und einer linken, die durch die Längsfurche oder *Fissura longitudinalis cerebri* getrennt werden. Jede Hemisphäre wird in vier Lappen unterteilt: in den Stirnlappen (*Lobus frontalis*), den Scheitellappen (*Lobus parietalis*), den Schläfenlappen (*Lobus temporalis*) und den Hinterhauptslappen (*Lobus occipitalis*) (siehe Anhang S. 155).

Der Stirnlappen dient vorwiegend der Planung zukünftiger Aktionen und der Bewegungskontrolle; der Scheitellappen kontrolliert das Tastgefühl und die Körperwahrnehmung, der Schläfenlappen das Hören sowie Aspekte von Lernen, Gedächtnis und Emotionen und der Hinterhauptslappen das Sehen. Zwischen den einzelnen Regionen des Neokortex bestehen Verbindungen unterschiedlicher Art: 1) durch relativ kurze Faserverbindungen zwischen einem Gyrus und dem nächsten, 2) durch lange Verbindungen zwischen den vier Lappen und 3) durch interhemisphärische Verbindungen, sogenannte

Kommissuren, die im *Corpus callosum* oder Balken liegen, und beide Hemisphären miteinander verbinden. Als interhemisphärische Verbindungen sind noch die *Commissurae anterior, fornicis* und *posterior* zu nennen.

Entsprechend der zahlreichen Freiheitsgrade, die aus den 28 Gelenken resultieren, gibt es auch eine mächtige, im Vergleich zu anderen Bereichen der Extremitäten, überproportionale, Repräsentation der Hand im primär-motorischen Kortex (MI, Brodmann-Area 4). Daneben sind auch andere kortikale Areale an der Steuerung von Fingerbewegungen beteiligt (Ehrsson et al., 2000), wie prämotorische (PM, lateraler Teil der Area 6) und parietale Areale (siehe genauere Abbildungen im Anhang S. 156). Im medialen Teil von Area 6 des Neokortex befindet sich eine spezifische Population von Neuronen mit Beziehung zur Ausführung distaler Bewegungen beider Hände (supplementär-motorischer Kortex). Auch posterior-parietale Areale sind an der Steuerung von Fingerbewegungen beteiligt (Jeannerod, 1993) (Abb. 4). Bei Affen reagieren in Area 7 (im posterioren Teil des intraparietalen Sulcus) Neurone auf komplexe visuelle Reize, einschließlich bewegter Reize unterschiedlicher Größe und Orientierung (Sakata et al., 1985).

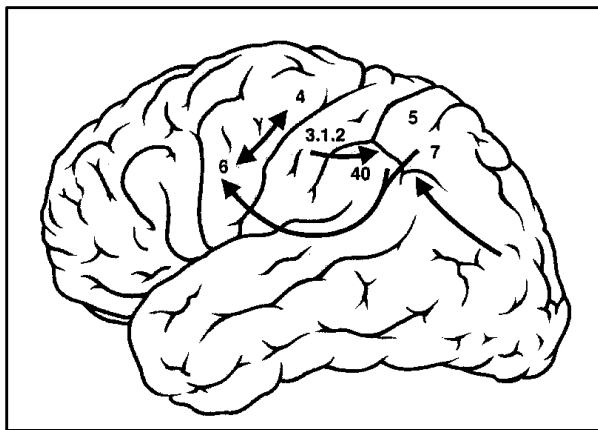


Abb. 4: **Ziel- und Greifbewegung.** Der kortikale Verarbeitungsweg: Der posterior-parietale Kortex (5, 7 & 40) erhält Informationen aus dem visuellen und den somatosensorischen Kortexen (3, 1, 2). Er projiziert zum prämotorischen Kortex (6), der wiederum eng mit dem primär motorischen Kortex (4) verknüpft ist (Mod. nach Jeannerod et al., 1995).

Direkte monosynaptische kortikomoto-neuronale Verbindungen (kortikomoto-neuronales System, CM-System), die zur Kontrolle unabhängiger Fingerbewegungen, wie dem Präzisionsgriff, notwendig sind, haben ihren Ursprung ausschließlich in den Pyramidenzellen des primär motorischen Kortex (Brodmann Area 4). Das CM-System etabliert sich erst relativ spät in der Phylogenese und entsprechend auch in der Ontogenese des Menschen. Da Neugeborene noch über keinen Präzisionsgriff verfügen, nimmt man an, dass das CM-System eine Voraussetzung für diesen Griff und für die Handgeschicklichkeit überhaupt ist. Dafür spricht auch, dass die Motoneurone der Handmuskeln besonders viele monosynaptische Verbindungen von CM-Fasern, sowie auch von Ia-Spindelafferenzen erhalten. Die Aktivität von CM-Neuronen korreliert viel stärker mit dem Präzisionsgriff als mit dem Kraftgriff (Lemon, 1993).

Die Mechanismen im parietalen (Area 5 und 7) und motorischen Kortex (Area 4 und 6) wirken zusammen, um die geeignete Bewegungsrichtung in Abhängigkeit vom visuellen Ziel auszuwählen (Rizzolatti, 2001). Neurone des prämotorischen und motorischen Kortex sind für die Initiierung von Bewegungen verantwortlich, wobei parietale Neurone deren Ausführung überwachen. Bei gezielten Armbewegungen verändert sich die Aktivität einer größeren Population von Neuronen im „Armareal“ der motorischen Hirnrinde. Die Aktivität beginnt etwa 100-200 ms vor Bewegungsbeginn und klingt während der Bewegung wieder ab. Das sog. Konzept eines Populationsvektors beinhaltet, dass jedes Neuron, dessen Aktivität registriert wurde, mit einem Vektor repräsentiert wird, dessen Richtung der Vorzugsrichtung der Einzelzelle und dessen Länge der Gewichtung der Entladungsintensität bei der betreffenden Bewegungsrichtung entspricht (Kalaska & Crammond, 1992). Die Resultate aller Einzelzellvektoren ergibt den Populationsvektor für jede der geprüften Richtungen, so dass durch das Entladungsmuster der vielen Neurone die Bewegungsrichtung definiert wird.

Die Händigkeit ist die am häufigsten untersuchte und offensichtlichste funktionale Asymmetrie des Menschen. Die Mehrzahl aller Menschen (ca.

85-90%) gebraucht hauptsächlich die rechte Hand für die Durchführung alltäglicher Tätigkeiten. Lediglich ein kleiner Prozentsatz verwendet vorwiegend die linke Hand oder gar beide Hände gleich gut bzw. häufig. Es liegt eine Arbeitsteilung zwischen der rechten und der linken Hand vor, die neuronal auf die funktionelle und morphologische Asymmetrie der Hirnhälften zurückgeht. Aufgrund der gekreuzt-lateralen Kontrolle übernimmt die rechte Gehirnhälfte die neuronale Steuerung der linken Seite und umgekehrt. Die meisten Rechtshänder zeigen in der linken Hemisphäre eine Spezialisierung für Sprache, allgemein logische analytische Aufgaben und manuelle Geschicklichkeit, insbesondere bei feinmotorischen Tätigkeiten. Die rechte Hemisphäre dominiert in visuell-räumlichen Prozessen (Raumwahrnehmung, Orientierung) und musikalischen Fähigkeiten sowie in der Verarbeitung von Emotionen (McGee, 1980). Tabelle 23 (siehe Anhang, S. 157) bietet einen vereinfachten Überblick über die Spezialisierung beider Hemisphären (Kolb & Wishaw, 1996; Pinel, 1997; Sturm et al., 2000).

Vor mehr als einhundert Jahren haben Marc Dax (1865) und Paul Broca (1861) entdeckt, dass eine Verletzung der linken Hemisphäre Sprachstörungen hervorruft, dieses bei einer Verletzung der rechten Hemisphäre aber nicht auftritt. Die rechte Hemisphäre wurde noch viele Jahre vernachlässigt, bis man ihr unter anderem spezifische Funktionen visuell-räumlicher Art zuweisen konnte (Kimura, 1966; Kolb & Wishaw, 1996; Pinel, 1997; Sturm et al., 2000). Solch eine Asymmetrie (Lateralität) von Funktionen kann sowohl durch Umwelteinflüsse als auch durch genetisch bestimmte Faktoren (z.B. Geschlecht) beeinflusst werden. Sie zeichnet sich durch beachtliche anatomische, funktionale und interindividuelle Variationen aus. Anatomisch unterscheiden sich die Hemisphären hinsichtlich des Umfangs, des Gewichts, der Verteilung der Gyri und der grauen und weißen Substanz (Gur et al., 1980; Geschwind & Levitsky, 1968; Eidelberg & Galaburda, 1982). Sergent (1983) geht von der Annahme aus, dass bei den meisten Menschen die rechte Hemisphäre bei der Gesichtererkennung überlegen ist, weil nicht feinste Unterschiede, sondern die Gestalt insgesamt dafür von Bedeutung ist. Die linke Hemisphäre arbeitet eher logisch und analytisch,

ähnlich einem Computer. Sie analysiert die eingehenden Informationen sequentiell und abstrahiert daraus die relevanten Details, die sie mit einer sprachlichen Bezeichnung versieht. Die rechte Hemisphäre befaßt sich eher mit ganzheitlichen Reizkonfigurationen und organisiert und verarbeitet Informationen als Gestalt (Harris, 1978). Dieses als funktionelle zerebrale Asymmetrie bezeichnete Phänomen ist eine wesentliche Eigenschaft der menschlichen Hirnorganisation und Kognition. Die funktionelle zerebrale Asymmetrie ist ein relatives, kein absolutes Maß, da beide Hemisphären an der Kontrolle fast jedes Verhaltens beteiligt sind. Obwohl die linke Hemisphäre für die Sprachproduktion von besonderer Wichtigkeit ist, verfügt auch die rechte Hemisphäre über Sprachfähigkeiten (Kolb & Whishaw, 1996). Darum wird das Phänomen der funktionellen zerebralen Asymmetrie oder Lateralisation auch als zerebrale Dominanz einer Hälfte bezeichnet. Die linke Hemisphäre zeigt sich dominant bei der Produktion und Verarbeitung von Sprache und bei der Planung und Steuerung motorischer Fertigkeiten, wohingegen insbesondere räumliche Kompetenzen stärker von der Verarbeitung der rechten Hemisphäre abhängen. Die in Tabelle 23 (siehe Anhang, S. 157) angeführten Unterschiede sind absolut gesehen nicht groß, sondern nur relativ als „Übergewicht“ einer Seite zu sehen; die interindividuellen Variationen sind dagegen erheblich.

Die Spezialisierung der beiden Hemisphären ist zudem nicht allein ein menschliches Charakteristikum, was aufgrund der ersten Befunde zur Lateralisation der Sprache lange Zeit angenommen wurde, sondern findet sich auch bei anderen Säugern und einigen Vogelarten. Der Nachweis einer Lateralisation bestimmter Funktionen für die Mehrheit der Individuen innerhalb einer Population könnte als Hinweis darauf gelten, dass die phylogenetische Tendenz, Funktionen auf beide Hemisphären aufzuteilen, einen Selektionsvorteil darstellt (Denenberg, 1981). Variationen in der funktionellen Organisation stellen ein Merkmal dar, das für ein tieferes Verständnis der Hemisphärenasymmetrie von großer Bedeutung ist. Insbesondere das Geschlecht weist zum Teil erhebliche Zusammenhänge mit der Lateralisation von Funktionen auf.



### 1.4.1 Geschlechtstypische Unterschiede im Gehirn

Einige Unterschiede der anatomischen Asymmetrie der Großhirnhemisphären lassen sich mit dem Geschlecht in Verbindung bringen. Zwar wird häufig behauptet, dass die Hemisphären des weiblichen Gehirns weniger asymmetrisch sind als die der Männer, aber diese Schlussfolgerung begründet sich im großen und ganzen auf nicht sonderlich präzise Daten. Nach Kolb & Wishaw (1996) gibt es nur drei statistisch zuverlässige geschlechtstypische Unterschiede im menschlichen Gehirn. Hierbei handelt es sich um das Planum temporale, die Sylvische Furche und das Corpus callosum. Eine neuere Studie (Amunts et al., 2000) deutet darüber hinaus auf eine geschlechtsspezifische Asymmetrie in der Tiefe der Zentralfurche (Sulcus centralis).

1. Das Planum temporale ist das direkt posterior vom auditorischen Kortex (Heschlscher Gyrus) gelegene kortikale Gebiet des *Gyrus temporalis superior*. Die traditionelle Annahme ist, dass diese mit der Sprache assoziierte Struktur bei den meisten gesunden Menschen eine Asymmetrie zugunsten der linken Hemisphäre aufweist (Geschwind & Levitsky, 1968). Diese linksbetonte Asymmetrie scheint bei Frauen signifikant reduziert zu sein (De Courten-Meyers, 1999; Shapleske et al., 1999; Wada et al., 1975) oder sogar vollständig zu fehlen (Kulynych et al., 1994). Des Weiteren findet man Geschlechtsunterschiede auch in dem zytoarchitektonischen Aufbau des Planum temporale. Witelson et al. (1995) beobachteten, dass Frauen eine 11% größere Neuronendichte in der posterioren Region des *Gyrus temporalis superior* aufweisen. Dieser Befund gilt insbesondere für die Schicht des Kortex, die den sensorischen Eingang erhält. Geschlechtsunterschiede in der Größe und Form des Planum temporale gehen jedoch nicht aus allen Studien hervor (Aboitiz et al., 1992 a; Zaidel et al., 1995).
2. Für die Sylvische Furche (*Fissura lateralis*) finden einige Untersuchungen Asymmetrieunterschiede zwischen Männern und Frauen (Witelson & Kigar, 1992; Ide et al., 1996). Witelson und Kigar (1992) beobachteten, dass die horizontale Komponente im posterioren Verlauf der Fissur in der

linken Hemisphäre insbesondere bei Männern länger ausfällt als bei Frauen. In der rechten Hemisphäre unterscheiden sich die beiden Geschlechter für dieses Merkmal nicht, was auf eine stärkere Symmetrie in dieser Struktur bei Frauen hindeutet. Aber auch für diese Struktur gibt es widersprüchliche Befunde, die zwar für einen asymmetrischen Verlauf der Sylvischen Furche berichten, ohne jedoch einen geschlechtsspezifischen Unterschied darin zu finden (Aboitiz et al., 1992 b; Foundas et al., 1999).

3. Besonders großes Interesse bezüglich eines strukturellen Geschlechtsdimorphismus in der cerebralen Asymmetrie liefern Studien zum *Corpus callosum*. Das *Corpus callosum* ist die größte Kommissur des menschlichen Gehirns und besteht aus mindestens 200 Millionen Fasern (Aboitiz et al., 1992a). Es ist stark topografisch organisiert und verbindet homotope Areale beider Hemisphären anatomisch und funktionell miteinander (De Lacoste et al., 1985). Die Ergebnisse zu den Geschlechtsunterschieden in dieser Struktur sind interessant, da ein Unterschied zwischen Männern und Frauen für eine Vielzahl von Funktionen bedeutsam sein könnte, ohne auf Sprachfunktionen begrenzt zu sein. Insbesondere der posteriore Teil des *Corpus callosum* (*Isthmus* und *Splenium*) scheint bei Frauen signifikant größer zu sein als bei Männern (Clarke & Zaidel; 1994, De Lacoste-Utamsing & Holloway, 1982; Holloway et al., 1993; Oka et al., 1999; Steinmetz et al., 1992). Das *Corpus callosum* liefert, im Unterschied zu anderen neuronalen Strukturen, nach der Korrektur für die allgemeine Hirngröße größere relative Werte bei Frauen (Holloway et al., 1993). Andere Untersuchungen finden kaum (Constant & Ruther, 1996; Matano & Nakano, 1998) oder gar keine Geschlechtsunterschiede in den relativen Messungen des *Spleniums* oder des gesamten *Corpus callosums* (Aboitiz et al., 1992 b; Hopper et al., 1994; Weis et al., 1989). Aufgrund der Tatsache, dass männliche Gehirne durchschnittlich größer sind als weibliche (Peters et al., 1998), könnten die beobachteten Geschlechtsunterschiede in der Anatomie des *Corpus callosum* ein Effekt der Hirngröße sein, nicht des Geschlechts per se (Jäncke et al., 1997). In

einer Metaanalyse auf der Basis von 43 Studien (Driesen & Raz, 1995) finden die Autoren, dass das relative Ausmaß des *Corpus callosum* größer bei Frauen ist, wohingegen die absolute Größe des *Corpus callosum* und *Splenium* größer bei Männern ist. De Lacoste-Utamsing & Holloway (1982) stellten auch einen qualitativen Unterschied fest: Bei Frauen ist das *Splenium* stärker gewölbt und wird zum Mittelteil des *Corpus callosum* hin breiter (im mediansagittalen Schnitt). Bei Männern geht das entsprechende Gegenstück ohne Ausbuchtung nahtlos in den davor liegenden Teil des *Corpus callosum* über. Im Gegensatz dazu kommen Bishop und Wahlsten (1997) in ihrer Metaanalyse von 49 Studien zu dem Schluss, dass es keine signifikanten Geschlechtsunterschiede in der Form oder Größe des *Splenium* gibt, unabhängig davon, ob die absolute oder relative Größe dieser Struktur betrachtet wird.

4. Eine neuere kernspintomographische Untersuchung zur Asymmetrie des *Sulcus centralis* unterstützt die Annahme, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in bestimmten neuroanatomischen Strukturen existieren (Amunts et al., 2000). In dieser Studie zeigen rechtshändige Männer einen deutlich tieferen *Sulcus centralis* in der linken Hemisphäre als in der rechten. Frauen weisen keine zerebrale Asymmetrie in dieser Struktur auf. Außerdem fanden die Autoren, dass dieser Geschlechtsdimorphismus mit der Händigkeit der untersuchten Personen interagiert. Die deutliche Asymmetrie des *Sulcus centralis* bei rechtshändigen Männern nimmt mit zunehmenden Anzeichen einer Linkshändigkeit ab. 62% der konsistent linkshändigen Männer zeigen sogar eine invertierte Asymmetrie zugunsten der rechten Hemisphäre. Bei den Frauen hat die Händigkeit keinen Einfluss auf das Ergebnis einer fehlenden Asymmetrie. Dieses Ergebnis liefert einen deutlichen Hinweis auf geschlechtsspezifische Unterschiede in der cerebralen Organisation des Motorkortex.
5. Landsell & Davie (1972) analysierten Pneumoencephalogramme neurologischer Patienten, um herauszufinden, ob die *Massa intermedia* vorhanden ist. Das ist eine Gewebebrücke, die den rechten und linken *Thalamus* miteinander verbindet. Sie fehlt bei etwa einem Drittel der

Männer und einem Viertel der Frauen. Die Autoren korrelierten ihre anatomischen Befunde mit verbalen und nicht-verbalen Daten der Wechsler-Bellevue-Intelligenztests (Landsell & Davie, 1972). Es stellte sich heraus, dass Männer mit der *Massa intermedia* bei nicht-verbalen Aufgaben weniger Punkte erreichten als solche ohne diese Struktur; für Frauen galt dies dagegen nicht. Eine mögliche Interpretation besagt, dass das Vorhandensein der *Massa intermedia* bei Männern zu einer Konkurrenz oder Interferenz von lateralisierten Funktionen der beiden Hemisphären führt. Diese Interpretation ist jedoch anatomisch nicht schlüssig, da, laut Nieuwenhuys, Voogd & van Huijzen (1980), die *Massa intermedia* mit der *Adhesio interthalamica* gleichzusetzen ist, die ein Stützgewebe ist, das nur Gliazellen und keine Axone enthält und somit keine funktionelle Verbindung zwischen den beiden *Thalami* herstellt .

Nicht zuletzt methodische Probleme führen zu dieser kontroversen Diskussion, so dass eine letzte Entscheidung darüber weiterhin aussteht, ob auch Geschlechtsunterschiede in der Form und Größe des *Corpus callosum* oder einzelner Subareale existieren. Dennoch bleibt festzuhalten, dass die Studien, die einen Geschlechtsdimorphismus finden, sich in ihren Befunden ähneln.

#### **1.4.2 Geschlechtsdifferenzen in mentalen Tests**

Befunde, welche die Annahme signifikanter Geschlechtsunterschiede bei der zerebralen Organisation unterstützen, stammen hauptsächlich aus Untersuchungen an gesunden Versuchspersonen. Sie umfassen Lateralitätstests und Messungen der Hirndurchblutung. MacCoby & Jacklin (1974) gelang es durch sorgfältige Zusammenfassung der Literatur, vier zuverlässige geschlechtsbezogene Unterschiede herauszuarbeiten:

1. Frauen haben größere sprachliche Fähigkeiten als Männer. Eine zunehmende Überlegenheit beginnt etwa ab dem 11. Lebensjahr und festigt sich während der Schulzeit und vermutlich auch später. Sie erreichen durchschnittlich höhere Werte in Aufgaben, die rezeptive und produktive

Sprachfähigkeit messen, und sie haben zudem ein besseres Verständnis bei schwierigen Texten. Frauen übertreffen Männer in der Wahrnehmungsgeschwindigkeit und im visuellen Gedächtnis (Kandel et al., 1996). Allerdings variieren die Leistungen der Frauen im Verlauf des Menstruationszyklus bei bestimmten Aufgaben (Hampson & Kimura, 1992). So kann ein hoher Östrogenspiegel eine schwächere Leistung bei der räumlichen Vorstellung, aber eine bessere Leistung in sprachlichen und motorischen Funktionen verursachen als dies bei einem niedrigen Östrogenspiegel der Fall ist.

2. Männer zeichnen sich durch besondere visuell-räumliche Fähigkeiten aus. Das bedeutet, dass sie bei Tests zur Wiedererkennung und zur Entdeckung verschiedener Formen, zur mentalen Rotation zwei- oder dreidimensionaler Objekte, zur Messung geometrischer Fähigkeiten und bei der Orientierung im Raum besser abschneiden.
3. Männer zeichnen sich durch größere mathematische Fähigkeiten aus. Obgleich sich die Geschlechter beim Erwerb der Mengen- und Zahlenbegriffe anfangs nicht unterscheiden, entwickeln sich die mathematischen Fähigkeiten bei Knaben ab dem 12. oder 13. Lebensjahr schneller als bei Mädchen.
4. Männer sind aggressiver als Frauen. Hier macht sich der Geschlechtsunterschied bereits mit dem Beginn sozialer Spiele, also im Alter von etwa zwei bis drei Jahren bemerkbar - er bleibt bis zur Studienzeit erhalten.

Für oben dargestellte geschlechtstypische Unterschiede werden häufig die folgenden fünf Erklärungen vorgeschlagen, die von verschiedenen Autoren kommen:

Unterschiedliche Gehirnorganisation. Dies ist bislang noch nicht bewiesen.

Hormonelle Einflüsse: Bei Vögeln und Säugern beeinflusst das Vorhandensein von Testosteron in kritischen Phasen der Entwicklung sowohl die Anatomie des Hypothalamus als auch die der Vorderhirnstrukturen. Ein möglicher Faktor, der zur Händigkeit beitragen könnte, ist die Hormonkonzentration während bestimmter Phasen der Ontogenese (Geschwind & Galaburda, 1987). Geschwind und Galaburda (1987)

nehmen an, dass Unterschiede in der Testosteronkonzentration während der fetalen Entwicklung bedeutsam sein könnten. Nach dieser Theorie beschleunigen höhere Konzentrationen fetalen Testosterons die Entwicklung der rechten Hemisphäre (relativ zur linken) eines Fötus bereits im Uterus. Aufgrund der Tatsache, dass jede Hand durch ihre kontralaterale Hemisphäre kontrolliert wird, bedeutet dies, dass hohe Konzentrationen fetalen Testosterons die Wahrscheinlichkeit der Linkshändigkeit bei einem Individuum erhöhen. Vor diesem Hintergrund ist es nicht überraschend, dass die Linkshändigkeit häufiger bei Männern als bei Frauen beobachtet wird (McGlone, 1980). Zudem nehmen Geschwind und Galaburda (1987) an, dass die beobachteten morphologischen Unterschiede für den Verhaltensdimorphismus verantwortlich sind.

**Geschlechtsgebundene genetische Unterschiede:** Zahlreiche Wissenschaftler (Annett, 1970; Levy & Nagylaki, 1972) gehen davon aus, dass der wesentliche Faktor für unterschiedliche räumliche Fertigkeiten zwischen Männern und Frauen genetisch bedingt ist. Ihrer Überzeugung nach ist ein rezessives Gen auf dem X-Chromosom dafür verantwortlich. Wenn dieses Modell stimmt, dann müssten 50% der Männer und 25% der Frauen über diese räumlichen Fähigkeiten verfügen. Daraus lässt sich ableiten, dass 25% der Frauen hinsichtlich ihrer durchschnittlichen räumlichen Fertigkeiten den männlichen Mittelwert übertreffen müssten.

**Reifungsgeschwindigkeit:** Da allgemein bekannt ist, dass Frauen ihre körperliche Reife in der Regel eher erlangen als Männer, liegt es nahe anzunehmen, dass auch das Gehirn von Männern langsamer reift als das von Frauen. Ferner hält man die Reifungsgeschwindigkeit für eine kritische Determinante der Gehirnasymmetrie. Das heißt, je langsamer ein Kind reift, desto ausgeprägter ist die cerebrale Asymmetrie. Eine Untersuchung von Waber (1976) zeigt, dass früh gereifte Erwachsene - unabhängig vom Geschlecht - bei sprachlichen Tests besser abschneiden, wohingegen „Spätentwickler“ bei räumlichen Tests bessere Ergebnisse erzielen. Da Frauen im Durchschnitt schneller reifen als Männer, könnten die besseren räumlichen Fertigkeiten der Männer in direkter Beziehung zu ihrer relativ langsamen Entwicklung stehen.

Umwelt: Unterschiedliche Umwelteinflüsse könnten das Verhalten von Männern und Frauen determinieren. Man erwartet im allgemeinen von Jungen eine größere soziale Unabhängigkeit als von Mädchen, so dass erstere ihre Umwelt viel intensiver erkunden und manipulieren - das sind Aktivitäten, die räumliche Fertigkeiten fördern. Harris (1978) hat in einer Übersichtsarbeit alle Forschungsergebnisse zusammengefasst, die für eine solche Ansicht sprechen. Er musste erkennen, dass nur wenige Untersuchungsergebnisse eine solche Ansicht stützen. Obwohl demnach Umwelttheorien in ihrer Logik verlockend sind, gibt es keine Hinweise darauf, dass die beobachteten Geschlechtsunterschiede bei verbalen und räumlichen Verhaltensweisen allein auf die Umwelt oder auf soziale Faktoren zurückgeführt werden können.

Masters (1998) prüfte, ob das Ausschalten von Leistungsfaktoren (zeitliche Begrenzung, Punkte erzielen) in mentalen Rotationstests den Geschlechtsunterschied in den Ergebnissen aufhebt. Die Ergebnisse lieferten keinen Beweis dafür, dass Faktoren wie das Punktezählen oder ein Zeitlimit die Geschlechtsunterschiede beeinflussen. Männer erzielten bei diesen Tests immer bessere Ergebnisse als Frauen. Collins & Kimura (1997) gingen der Frage nach, ob der Geschlechtsunterschied bei mentalen Rotationsaufgaben eine Folge der dreidimensionalen Rotationen ist oder aus dem hohen Schwierigkeitsgrad der Aufgaben resultiert. Sie fanden heraus, dass der Geschlechtsunterschied bei zweidimensionalen Rotationen erhalten blieb. All diese Untersuchungen konnten keine Gründe für den typischen Geschlechtsunterschied finden. Im Gegensatz zu den vorgenannten Studien konnte in anderen Studien zu diesem Thema allerdings ein Verschwinden des Unterschieds erreicht werden. Voyer (1997) untersuchte z. B. den Einfluss von verfahrensorientierten Faktoren auf die Größe des Geschlechtsunterschiedes in mentalen Rotationsaufgaben. Er fand nur unter der Bedingung, dass die Zeit gemessen wurde, einen signifikanten Geschlechtsunterschied, aber nicht in der nicht zeitgebunden Testvariante.

### **1.5 Ziele der Arbeit**

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Leistung beim zielgerichteten Greifen der dominanten und der non-dominanten Hand gesunder junger Erwachsener zu vermessen und zu vergleichen. Sie bediente sich einer nach Jeannerod (1993) modifizierten Messmethode. Die Aufnahme der Bewegungen erfolgte über ein optoelektronisches Bewegungsanalysesystem. 20 Probanden aus der Universität Kiel bildeten das Kollektiv, das die Bewertungsgrundlage für die Beurteilung motorischer Defizite nach Unfällen bei Kindern und Erwachsenen bildet. Die Untersuchungen dieses Kollektivs soll folgende Fragestellungen klären:

#### **Gibt es einen Leistungsunterschied beim Greifakt zwischen der linken und der rechten Hand?**

- Zunächst gilt es, die grundsätzliche Hypothese zu prüfen, ob dieser Leistungsunterschied bei schreibähnlichen und repetitiven Bewegungen auftritt.
- Die Analyse der Ziel- und Greifbewegungen soll die Frage klären, ob es intermanuelle Differenzen bei verschiedenen Parametern gibt.

#### **Zeigt sich ein Händigkeitsunterschied bezüglich der Geschwindigkeit?**

- Unter der Annahme, dass sich die Ziel- und Greifbewegungen der vorgegebenen Geschwindigkeit anpassen, wird geprüft, ob sich die Werte der verschiedenen Parameter beider Hände bei zunehmender Geschwindigkeit in gleicher Weise verändern.

#### **Ist die Raumbelichtung relevant für das Greifverhalten der Hände?**

- Es wird angenommen, dass die Probanden ohne Beleuchtung langsamer bzw. vorsichtiger arbeiten. Auch hier werden Differenzen beider Hände sowie Geschlechterunterschiede geprüft.



**Welche Rolle spielt das Geschlecht bezüglich der Händigkeit?**

- Vorerst sollte geprüft werden, ob es einen Unterschied zwischen den Geschlechtern bezüglich der Händigkeit und der geprüften feinmotorischen Leistung gibt.
- Weiterhin stellt sich die Frage, ob Frauen schlechtere Ergebnisse bei Rotationstests (Schlauchfiguren) zeigen, während Männer schlechtere Ergebnisse bei Wortfindungstests („word-fluency“) haben.
- Es soll untersucht werden, ob Männer schneller bzw. unvorsichtiger an den Versuch zur Ziel- und Greifbewegung herangehen als Frauen.



## 2. Material und Methoden

Im Rahmen dieser Arbeit sollten die Leistungen der Hände bei Greifbewegungen in Hinblick auf Unterschiede zwischen dominanter und nondominanter Hand unter verschiedenen Bedingungen (mit oder ohne Beleuchtung, unterschiedliche Geschwindigkeiten) untersucht werden. Zu diesem Zweck zeichneten Infrarot-Kameras definierte Greifaufgaben auf, die von Probanden durchgeführt wurden. Anschließend konnten diese erfassten Daten zunächst mit der Software des Bewegungsanalyse-Systems „MacReflex“ und dann mit Hilfe der am Physiologischen Institut der CAU Kiel entwickelten Software „OWIT“ bearbeitet werden. Weiterhin wurden die Programme SPSS 10.0 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc.), Excel für Windows 98 (Microsoft) zur statistischen Auswertung und Xact für die Erstellung der Graphiken genutzt, sowie Word für Windows 98 (Microsoft).

### 2.1 Allgemeine organisatorische Bedingungen

Die Durchführung der Studie fand im Greiflabor des Physiologischen Instituts der Christian-Albrechts-Universität Kiel statt. Die Untersuchung wurde an freiwilligen Versuchspersonen durchgeführt, die sich auf Umfragen in den Praktika des Physiologischen Institutes gemeldet hatten. Für jeden Probanden wurden zwei Untersuchungstermine im Abstand von zwei Tagen bis maximal einer Woche vereinbart, die jeweils ca. 1 - 1,5 Stunden in Anspruch nahmen. Alle Daten, die von einem Probanden erhoben wurden, wurden in Dateneingabebögen festgehalten.

## **2.2 Beschreibung der Stichprobe**

Als Versuchspersonen standen 10 weibliche und 10 männliche Studenten zwischen 20 und 30 Jahren (durchschnittliches Alter: 22,7 bei den Frauen und 24,6 bei den Männern) zur Verfügung. Als Voraussetzungen zur Teilnahme galt, dass sie alle Rechtshänder sind und keine Probleme sowohl mit dem Sehen als auch mit den oberen Extremitäten haben. Außerdem sollten sie am Tag zuvor weder Alkohol noch sonstige Drogen oder Medikamente zu sich genommen haben.

## **2.3 Neurologisch-motorische und psycho-soziale Untersuchungen zur Lateralität**

Vor den eigentlichen Greifversuchen wurden mit den Probanden verschiedene Tests durchgeführt, damit unter anderem ihre Aussage zur Händigkeit überprüft werden konnte.

### **2.3.1 Handpräferenz-Fragebogen**

Dieser Test erfragt die Händigkeit der Versuchsperson. Er wurde nach Annett (1970) und Oldfield (1971) modifiziert und enthält weitere Fragen wie z.B. „Mit welcher Hand schreibst Du“, oder „Mit welcher Hand hältst Du ein Messer“ (siehe Seite 159). Wenn alle Fragen eindeutig beantwortet werden können, erhält man als Resultat eine Handpräferenz von 100 %.

### **2.3.2 Purdue-Pegboard**

Ursprünglich wurde das Purdue-Pegboard von Tiffin & Asher (1948) entwickelt, um die Fingerfertigkeit von Arbeitern zu testen. Heutzutage wird dieses Steckbrett auch zur Überprüfung der Rehabilitation von Verletzten benutzt (Asikainen et al., 1999; Hoppe, 2003). Am oberen Ende des Brettes befinden sich vier horizontal aufgereihte Vertiefungen, in denen sich die benötigten Metallstäbchen (jeweils 25 Stück) befinden. Darunter sind zwei senkrechte verlaufende Reihen mit je 25 Löchern gebohrt, in die die

Metallstäbchen hineinpassen (Abb. 5). Der Proband soll innerhalb einer vorgegebenen Zeit (30 sec.) mit einer Hand versuchen, so viele Stäbchen wie möglich in die vorgebohrten Löcher zu stecken. Der Test wird dreimal mit der einen Hand durchgeführt und dann mit der anderen Hand wiederholt. Die Ergebnisse der drei Durchgänge werden für jede Hand gemittelt und mit Normwerten, die nach Alter und Geschlecht getrennt sind, verglichen.



Abb. 5: **Purdue-Pegboard** im Gebrauch mit der rechten Hand.

### 2.3.3 Schlauchfiguren

Die „Schlauchfiguren“ sind ein neuartiger Aufgabentyp zur Prüfung des räumlichen Vorstellungsvermögens. Sie entstanden im Zuge der Entwicklung des „Tests für medizinische Studiengänge“ am Institut für Test- und Begabungsforschung in Bonn. Der Bereich der Raumvorstellung gehört zu denjenigen Feldern kognitiver Leistungen, für die mit großer Konsistenz geschlechtsspezifische Unterschiede in der Leistungsfähigkeit berichtet werden (Collins & Kimura, 1997; Ginn & Stiehl, 1999). Zwar sind die Unterschiede nicht für alle Altersstufen gleich ausgeprägt, aber von der Pubertät an erbringen im allgemeinen männliche Probanden höhere

durchschnittliche Leistungen als weibliche (Harris, 1978). Jede der 21 Aufgaben, die bearbeitet werden sollen, besteht aus zwei Abbildungen. Diese Abbildungen (Beispielabbildung siehe Seite 160) zeigen einen durchsichtigen Würfel, in dem sich ein gewundenes Kabel befindet. Die erste Abbildung (links) zeigt stets die Vorderansicht des Würfels. Auf dem rechten Bild daneben ist derselbe Würfel abgebildet, jedoch in einer anderen Perspektive. Es soll herausgefunden werden, ob der Würfel auf dem zweiten Bild von rechts, von links, von unten, von oben oder von hinten zu sehen ist. Die reine Testzeit beträgt 12 Minuten.

### **2.3.4 Paper-Test**

Der Paper-Test ist einer von 4 Tests aus einer Studie von Annett (1992), anhand dessen die Geschicklichkeit der Hände untersucht wird. Die Aufgaben müssen sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand innerhalb einer vorgegebenen Zeit bewältigt werden. Für diese Studie wurde der sogenannte „Square marking“-Test ausgewählt, da dieser den deutlichsten Unterschied in der Geschicklichkeit der Hände zeigt (Annett, 1992). Die Aufgabe ist es, mit dem Stift so viele (genaue) Kreuze in jedes Quadrat zu setzen wie in der vorgegebenen Zeit möglich ist. Auf dem Testbogen (siehe Seite 160) sind mehrere Reihen von Quadraten (6,3 mm Kantenlänge), die zu vier Blöcken zusammengefasst sind, abgebildet. Die vorangehenden Übungen für diesen Test dauern für jede Hand und jeden Durchgang 10 Sekunden, in denen man die Möglichkeit hat, die Kreuze in drei Reihen mit jeweils zwanzig Quadraten zu setzen. Für die Datenauswertung relevanten Test gibt es für jede Hand und jeden Durchgang 30 Sekunden Zeit. Es stehen ein Block für die rechte und einer für die linke Hand, die sich aus zehn Reihen mit je zwanzig Quadraten zusammensetzen, zur Verfügung.

### **2.3.5 Wortflüssigkeits-Test**

Das Leistungsprüfsystem (L-P-S) dient der Erfassung der Gesamtintelligenz und der Begabungsstruktur eines Menschen. Es wurde von Prof. Dr. Wolfgang

Horn 1962 in Anlehnung an die Primärfähigkeiten und den Primary Mental Abilities Test von Thurstone (1938) entwickelt. Das Leistungsprüfstystem besteht insgesamt aus 14 Untertests zu je 40 Aufgaben. Verwendet wurde ein Untertest, der die sprachliche Flüssigkeit prüft und aus der überarbeiteten Fassung des LPS von 1983 (Horn) stammt. Bei Tests im Bereich Worteinfall oder Wortflüssigkeit („word-fluency“) schneiden Frauen in der Regel besser ab als Männer. Die Aufgabe ist es, so viele Wörter wie möglich mit dem gleichen Anfangsbuchstaben innerhalb von einer Minute aufzuschreiben. Die Wörter dürfen keine Fremd-, oder Fachwörter sein und auch nicht demselben Wortstamm angehören (z.B. Bauleiter, Bauhelm, Baugerüst usw.). Der Versuchsleiter gibt den Buchstaben vor. Nach Ende der Zeit für den ersten Buchstaben erfolgt die Ansage für den nächsten. Dieser Vorgang wird noch zweimal wiederholt. Die Versuchsperson muss also sofort, ohne Pause, von einem Buchstaben zum nächsten wechseln.

### **2.3.6 Das Bem-Sex-Role Inventory (BSRI)**

Das BSRI erfasst die Geschlechtsrollenidentifikation anhand einer Selbsteinschätzung. Es wurde 1974 von Bem entwickelt und 1988 von Schneider-Düker & Kohler für den deutschen Sprachraum neu konstruiert. Im Gegensatz zu den bis dahin bekannten Tests zur Erfassung der Geschlechtsrollenidentifikation hat das BSRI einen Androgynieansatz. Maskulinität und Femininität werden nicht mehr als Endpunkte einer Geraden betrachtet, auf welcher die Versuchsperson entsprechend näher zur Femininität oder Maskulinität plaziert wird, sondern als zwei voneinander unabhängige Dimensionen.

Das BSRI besteht aus 60 Persönlichkeitseigenschaften (Items), die von den Versuchspersonen auf einer 7-Punkte-Skala beurteilt werden. Die 7-Punkte-Skala repräsentiert die Intensität der Identifizierung mit dem abgefragten Item und beinhaltet dementsprechend sieben Abstufungen zwischen „nie“ und „immer“ (siehe Seite 161). Diese Persönlichkeitseigenschaften werden in drei Skalen, der Femininitätsskala (F-Skala), der Maskulinitätsskala (M-Skala)

und der Skala der sozialen Erwünschtheit (s. E.-Skala), zu je 20 Eigenschaften aufgeteilt. Aus den jeweils 20 Werten der drei Skalen werden die Mittelwerte berechnet und mit der sogenannten Median-Split-Methode ausgewertet. Diese Methode ist heute ein gängiges Verfahren, da sie in der Geschlechtsrollenorientierung undifferenzierte Individuen identifiziert. Dadurch entsteht eine Einteilung in vier Gruppen, deren Grenzen durch die Mediane der Femininitäts- und Maskulinitätsskala gebildet werden. Versuchspersonen mit hohen Werten auf der M- und F-Skala werden als androgyn und solche mit niedrigen Werten auf beiden Skalen als undifferenziert typisiert. Zeigt eine Versuchsperson einen hohen Wert nur auf der M- oder F-Skala, so wird sie als entsprechend maskulin bzw. feminin charakterisiert. In der vorliegenden Arbeit werden nur die F- und M-Skalen betrachtet, da es hier lediglich um die Selbsteinschätzung von männlichen und weiblichen Eigenschaften ging.

## **2.4 Versuchsaufbau**

Die Ziel- und Greifbewegungen der Hände wurden mit einem optoelektronischen Bewegungsanalysesystem vermessen (MacReflex, Firma Qualisys, Göteborg, Schweden). Dieses setzte sich aus drei Infrarot-Kameras, drei dazugehörigen Videoprozessoren, einem Apple Macintosh-Computer und einem Kalibrierrahmen zusammen. Jede Kamera war mit einem Cosmicar f 8,5 – Objekt versehen, um das 40 Infrarot-Leuchtdioden (Wellenlänge 230 nm) kreisförmig positioniert waren. Das von den Dioden emittierte stroboskopische Infrarot-Licht traf auf reflektierende Markierungspunkte, deren räumliche Positionen durch das Videoprozessor-Computersystem ermittelt wurden. Vor Beginn der Messungen wurde das Bewegungsanalysesystem mit einem Kalibrierrahmen, an den 6 Markierungspunkte in genau definierten Abständen befestigt waren, geeicht. Danach ließ sich die Position beliebiger Markierungspunkte innerhalb des geeichten Sichtfeldes der Kameras mit einer Genauigkeit von 0,4 mm berechnen. Da die Kameras mit einer Aufnahmefrequenz von 50 Hertz



arbeiteten, lag die zeitliche Auflösung des Bewegungsanalysesystems bei 20 ms. Zusätzlich wurden die Versuche mit einer Videokamera gefilmt.

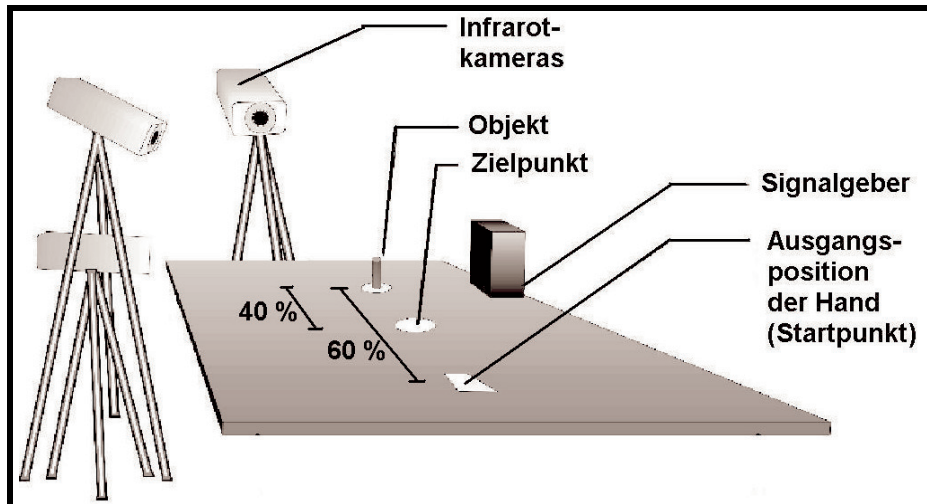


Abb. 6: **Aufbau der Kameras im Greiflabor** (Aufnahme der rechten Hand).

Der experimentelle Aufbau wurde den individuellen Körpermaßen der einzelnen Versuchspersonen jeweils angepasst. Dazu wurde vor den Versuchen die Armlänge des Probanden gemessen; für diesen Zweck galten als Orientierungspunkte die Schulterhöhe (Acromion) und das Handgelenk (Processus styloideus radii). Diese Werte wurden als Grundlage für die Berechnung der Entfernungen benutzt. Ich wählte 60% der Armlänge für die Entfernung zwischen Ausgangsposition der Hand (Startpunkt) und dem Objekt, und 40% der Armlänge für die Entfernung zwischen dieser Position und dem Zielpunkt, um vergleichbare Versuchsbedingungen für Probanden mit unterschiedlichen Armlängen zu gewährleisten (Abb. 6). Anschließend wurde die maximale Fingeröffnung zwischen Daumen und Zeigefinger beim aktiven Spreizen der Hand, also die größtmögliche Griffapertur, gemessen. Auf die Nägel von Daumen und Zeigefinger, sowie auf das Handgelenk (Abb. 7) wurden dann mit Doppelklebeband reflektierende Halbkugeln, sog. Marker, befestigt (Maße: Zeigefinger:  $\varnothing$  7mm, Höhe: 6mm, Daumen:  $\varnothing$  10mm, Höhe: 4mm, Handgelenk:  $\varnothing$  12mm, Höhe: 11mm). Die Koordinaten

dieser Marker konnten von den Infrarot-Kameras erfasst und während der Bewegungen durch den Raum verfolgt werden.

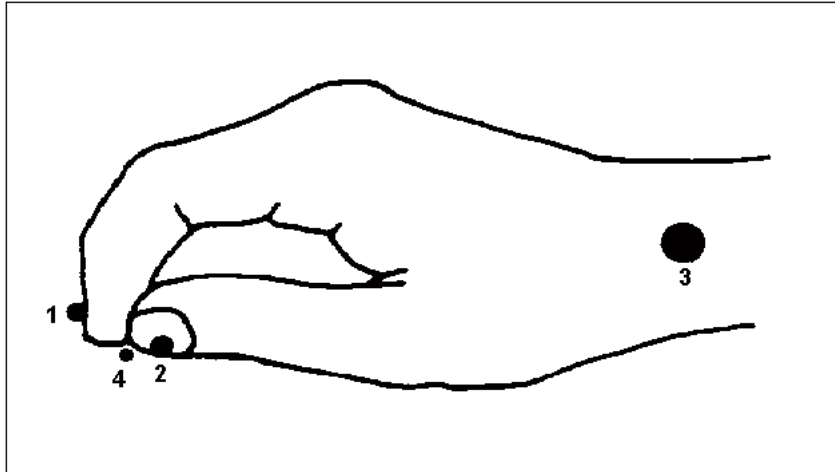


Abb. 7: **Ausgangshaltung der Hand für die Greifbewegung.** Nr. 1-3 sind die aufgeklebten Marker, Nr. 4 der zur Festlegung der Ausgangsposition der Hand dienende Stecknadelkopf (Startpunkt).

Als zu ergreifendes Objekt diente ein aufrecht stehender, mit weißem Papier bezogener Kunststoffzylinder mit den Maßen 15 mm im Durchmesser, 41 mm in der Höhe und einem Gewicht von 12 Gramm. Der Sockel des Objektes war um 10 mm verbreitert. Dieses Objekt stand vor der Versuchsperson in einem in die Tischebene integrierten verschiebbaren Halter mit ringförmiger Fassung. In dem Halter war eine Lichtschranke eingebaut, deren Signal das Anheben des Objektes anzeigte. Ein zweiter gleichartiger Halter stand in dem vorher bestimmten Abstand vom ersten Halter entfernt und diente als Zielpunkt. Auch hier war eine Lichtschranke eingebaut, die das Einsetzen des Objektes in die Fassung anzeigte.

Da die Probanden in drei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (schnell, normal & langsam) greifen sollten, aber jeder eine andere Auffassung von „schnell“ und „langsam“ hat, wurden vor den Versuchen Töne in zwei verschiedenen Längen vorgespielt, um vergleichbare Versuchsdurchführungen zu bekommen. Das Startsignal wurde mit einem Ton A ( $\approx 4000$  Hz, 50 ms Dauer) gegeben. Danach erfolgte bei dem langsamen Greifen eine Pause

von 300 ms und es ertönte ein Ton B ( $\approx 400$  Hz) mit einer Dauer von 1500 ms. Für das schnelle Greifen wurden sowohl die Pause auf 150 ms als auch der Ton B auf 500 ms verkürzt. Diese Zeitwerte orientieren sich an den Ergebnissen früherer, publizierter Experimente (Kuhnz-Buschbeck et al., 1998 a und b). Das Greifsignal (Ton B) sollte den Versuchspersonen veranschaulichen, wie lange die Greifbewegung nach dem Startsignal dauern sollte. Das Vorspielen, bei dem die Probanden entsprechend der Richtwerte griffen, wurde 5-6 mal wiederholt, bis sie sich die Dauer eingeprägt hatten und sie in den nun folgenden Versuchen diese Zeit möglichst beibehalten konnten.

Auf ein kurzes Tonsignal hin, dessen Zeitpunkt mittels einer angeschlossenen Leuchtdiode registriert wurde, griffen die Versuchspersonen mit ihrer zu untersuchenden Hand nach dem Objekt, fassten es zwischen Daumen und Zeigefinger, hoben es an und führten es in das Ziel ein. Der Bewegungsablauf gliederte sich somit in eine Greifbewegung vom Startpunkt zum Objekt (Hinbewegung) und in eine Rückbewegung, mit der das gefasste Objekt in das Ziel gebracht und dann losgelassen wurde (Abb. 6; 8). Die Probanden wurden aufgefordert, in der angegebenen Weise (schnell, normal oder langsam) zu greifen, wobei das normale Greifen mit natürlicher, selbstgewählter Geschwindigkeit erfolgen sollte. Die Ziel- und Greifbewegungen wurden einerseits unter Sicht, mit permanenter Beleuchtung im Raum, aufgezeichnet. In einem weiteren Durchgang wurden bei denselben Probanden die Bewegungsabläufe ohne Sichtkontrolle registriert. Hierbei sahen sie das Objekt bis zum Ertönen des Startsignals. Zeitgleich mit dem Signal wurde das Licht im ansonsten abgedunkelten Versuchsraum plötzlich gelöscht, so dass die Versuchsperson ihre Hand im Dunkeln zur erinnerten Position des Objektes dirigieren musste, um dieses zu erfassen.

Es gab zwölf verschiedene Kombinationen der Bedingungen. Dabei wurde gewechselt zwischen rechter und linker Hand, zwischen Greifen mit und ohne Beleuchtung und zwischen schnellen, normalen und langsamen Geschwindigkeiten. Die Greifzyklen wurden von jedem Probanden unter

jeder Bedingung 12-15 mal wiederholt, damit daraus Mittelwerte für die weitere Auswertung errechnet werden konnten. Bei 12 bis 15 Wiederholungen pro Kombination ergaben sich somit 140-180 Greifzyklen je Proband.

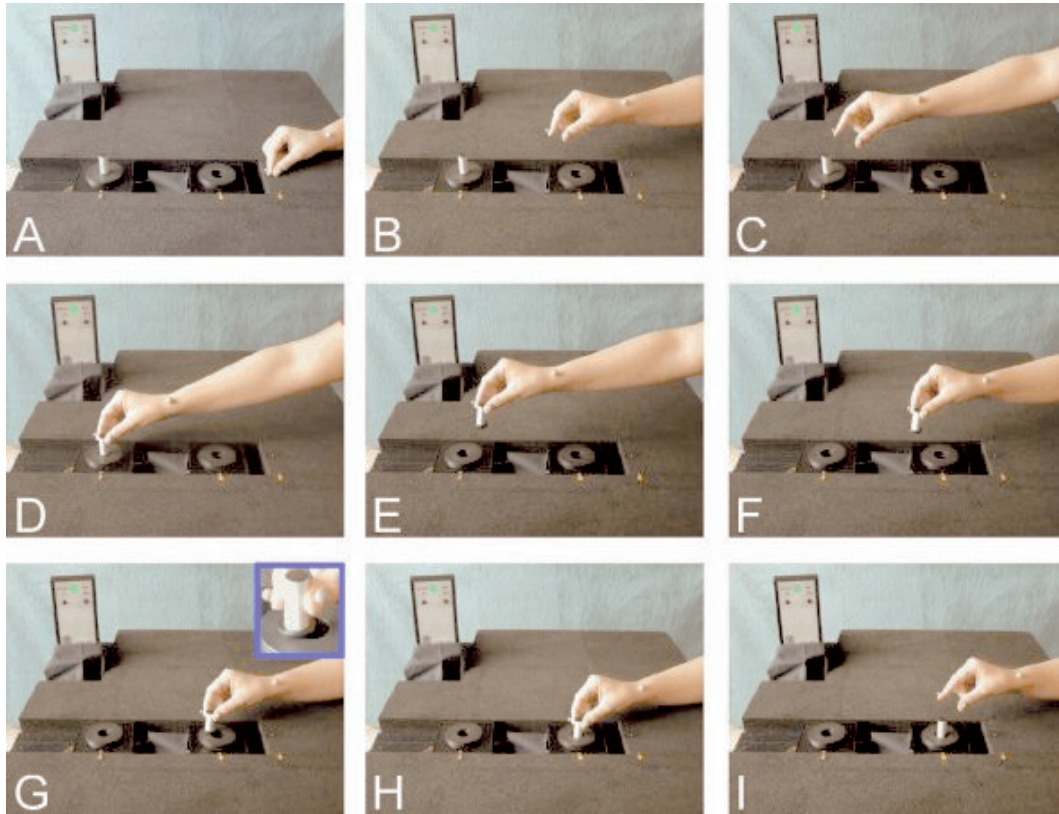


Abb. 8: **Originalbilder vom Greifvorgang.** A: Hand am Startpunkt, B,C: Hand wird zum Objekt geführt, D: Hand greift das Objekt, E, F: Hand führt das Objekt zum Zielpunkt, G: Ziel wird „gesucht“, H: Objekt steht im Ziel. A-D: Hinbewegung, D-H: Rückbewegung, I: Loslassen nach Ende der Rückbewegung.

## 2.5 Auswertung

### 2.5.1 Berechnung der Händigkeit

Messungen von intermanuellen Unterschieden in der Geschicklichkeit haben eine R-L Punktedifferenz, im weiteren als „Score“ bezeichnet (Durchschnittszeit der linkshändigen Durchgänge minus Durchschnittszeit der rechtshändigen Durchgänge). R-L „Scores“ werden beim Vergleich mit zuvor publizierten Daten benutzt. Um alle Tests miteinander vergleichen zu können, ist es notwendig,

eine Normierung für alle Tests zu entwickeln, in welcher die Differenz zwischen den Händen als eine Proportion zur Gesamtzeit oder als „Score“ für beide Hände betrachtet werden kann.

Der R-L „Score“ (in Prozent) wird berechnet nach der Formel:

$$Score(R-L) = \frac{R-L}{R+L} \cdot 100$$

Da die Häufigkeiten der rechten Hand bei Rechtshändern normalerweise höher sind, folgt daraus die Subtraktion der Häufigkeiten der rechten Hand minus Häufigkeiten der linken Hand. Der R-L „Score“ [%] verweist auf die relative Geschicklichkeit der Hände in allen Aufgaben. Auch der Index für die Handpräferenz (IHP), der sich aus dem Handpräferenz-Fragebogen ergibt, wurde nach dieser Formel berechnet. War der IHP positiv, gab das eine Tendenz zur Rechtshandpräferenz an, und wenn der IHP negativ war, eine Tendenz zur Linkshandpräferenz.

### 2.5.2 OWIT

Zunächst mussten die vom Bewegungsanalysesystem erfassten Markierungspunkte den entsprechenden Körperteilen (z.B. Daumen) zugeordnet werden, welches mit der Mac-Reflex Software an einem Macintosh Performa Computer interaktiv erfolgte (sogenanntes „Tracken“). Die Weiterverarbeitung der Daten erfolgte mit dem Programm OWIT. Das Programm OWIT (Object Wrist Index Thumb) wurde 1998 von Dr. Johann Kutzt-Buschbeck und Timo Wolf im Physiologischen Institut der Christian-Albrechts-Universität Kiel entwickelt (Wolf & Kraas, 2000). 2001 wurde eine aktualisierte Version (3.0) von Ingo Schiller erstellt.

OWIT ist ein Programm, das zur Auswertung von Greifbewegungen dient. Die Koordinaten des jeweiligen Markers werden einzeln aufgerufen und fehlende Werte gegebenenfalls interpoliert. Die komplette Messung ist Bild für Bild mit Framenummern verzeichnet, die vorab vom MacReflex-Programm vergeben wurden. Bei der Auswertung der Greifbewegungen wurden

verschiedene Zeitabschnitte festgelegt (Abb. 9). Die Reaktionszeit vom Startsignal bis zum Beginn der Greifbewegung (Hand up) und die Bewegungsdauer bis zum Fassen und Heben des Objekts (Object up) gehören zur Hinbewegung. Die Dauer der Rückbewegung teilt sich in die sogenannte Rückzugszeit, während der das Objekt nah zum Zielpunkt gebracht wurde, und die Einfügzeit, während der das Objekt in die Fassung des Halters eingesetzt wurde. Die Festlegung der Zeitintervalle erfolgte mit Hilfe der LED-Signale und des OWIT Programms, das fünf wichtige Zeitangaben (Framenummern) innerhalb einer Messung benötigte, und zwar die Framenummern:

- zu der das Startsignal gegeben wurde
- bei der die Handbewegung begann (ungefähr)
- bei der das Objekt angehoben wurde
- bei der die Einfügphase begann (ungefähr)
- bei der das Objekt in der Zielposition stand.

Die Framenummern des Startsignals, des Objektanhebens und des Endsignals müssen genau bekannt sein. Wurde der Versuch mit einer Start/Stop-LED durchgeführt, kann OWIT diese Werte aus den Signalen der Dioden automatisch berechnen. Falls die automatische Berechnung nicht möglich ist, z.B. weil die Start/Stop-LED nicht mit aufgezeichnet wurde, können die Werte nachträglich manuell eingefügt werden. Der Bewegungsbeginn der Hand wird vom Rechner nach vorgegebenem Schema halbautomatisch an Hand des Graphens der Bewegungsgeschwindigkeit (Abb. 9) ermittelt. Um die Bestimmung des Bewegungsbeginns zu vereinfachen, muss dem Rechner ein ungefährender Zeitpunkt eingegeben werden. Dabei ist zu bedenken, dass die Suche nach dem Bewegungsbeginn im Graphen nur rechts der Markierung mit fortschreitender Zeitachse stattfindet, also muss die Markierung weit genug nach links gesetzt werden. Als exakter Bewegungsbeginn wird der Zeitpunkt festgelegt, zu dem die Geschwindigkeit des Handgelenks einen Schwellenwert von 20 mm/s überschreitet. Dieser Schwellenwert hat sich in früheren Experimenten als sinnvoll erwiesen (Kutzt-Buschbeck et al. 1998 a).

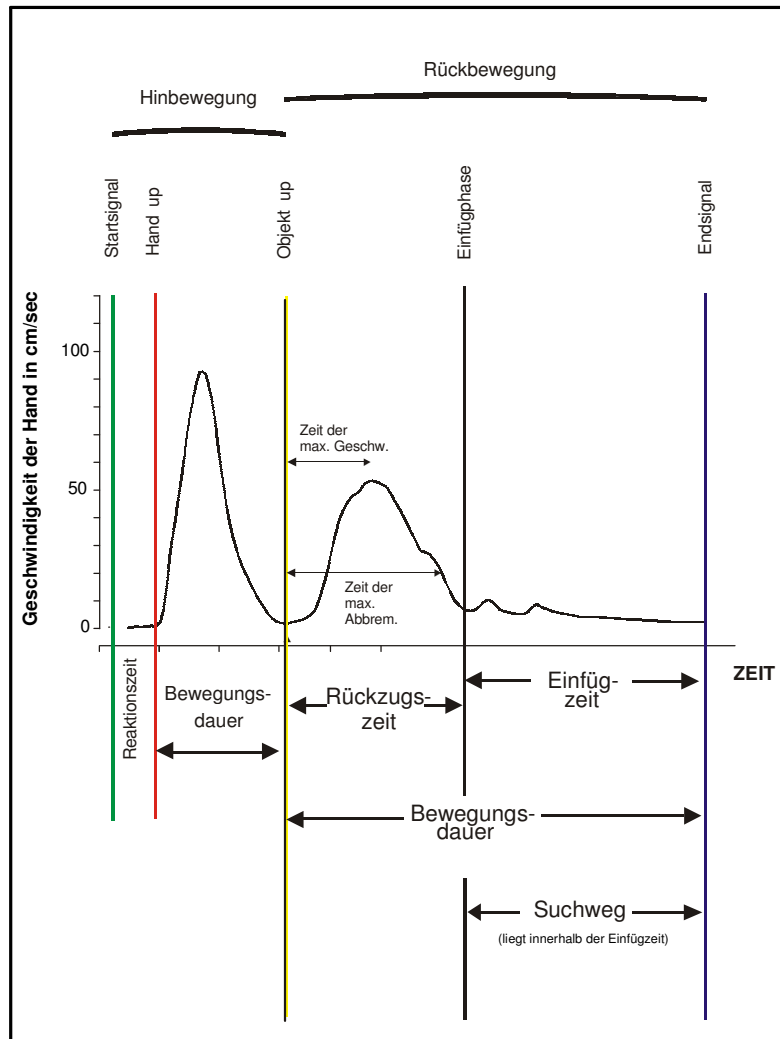


Abb. 9: **Graphische Darstellung der einzelnen Parameter der Hin- und Rückbewegung.**  
 Hand up = Bewegungsbeginn, Objekt up = Anheben des gefaßten Objektes,  
 Endsignal = Objekt ist in die Zielposition gelangt.

Der Übergang von der Hin- zur Rückbewegung wird gekennzeichnet durch das Anheben des Objekts. Der exakte Übergang von der Rückzugs- zur Einfügzeit (Abb. 9) am Ende der Rückzugsphase wird mit ihrem etwa glockenförmigen Geschwindigkeitsprofil festgelegt, und zwar wenn die Geschwindigkeit des Handgelenks einen Schwellenwert von 100 mm/s unterschreitet. Diese wurde für jeden Griff interaktiv überprüft. Die Auswertung der vorhandenen Daten untergliedert sich in zwei Bereiche. Zum einen besteht die Möglichkeit, verschiedene graphische Darstellungen auf dem Bildschirm sowie dem Drucker auszugeben. Die andere Möglichkeit besteht darin, sich von OWIT einen Satz bestimmter Parameter berechnen

zu lassen, wie zum Beispiel die Reaktionszeit. Auch diese Parameter können dann auf dem Drucker ausgegeben werden. Sie lassen sich jedoch auch in SPSS- oder Excel- lesbare Dateiformate umwandeln. Die Hauptaufgabe von OWIT ist es, verschiedene Daten, wie Reaktionszeit oder Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks, automatisch zu berechnen. Die Analysesoftware OWIT wertet explizit die Greifprofile aus, und ermittelt als Ausgabe für jeden einzelnen Greifvorgang verschiedene Parameter für die Hin- und Rückbewegung, von denen folgende zur weiteren Berechnung verwendet worden sind:

#### Hinbewegung

- Reaktionszeit
- Bewegungsdauer
- Streuung der Bewegungsdauer
- Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks
- Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer
- Mittlere Geschwindigkeit
- Handgelenkshöhe
- maximale Fingeröffnung
- Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung relativ zur Bewegungsdauer
- Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit

#### Rückbewegung

- Rückzugszeit
- Einfügzeit
- Bewegungsdauer
- Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks
- Mittlere Geschwindigkeit
- Zurückgelegte Strecke
- Handgelenkshöhe
- Suchweg

Hinbewegung: Die Reaktionszeit ist die Zeit, die vom Ertönen des Startsignals bis zum Beginn der Bewegung vergeht. Als Bewegungsdauer wird die Zeit vom Beginn der Bewegung der Hand bis zum Fassen und Abheben des Objekts (LED erlischt) gemessen. Die Streuung ist die Standard-



abweichung der Dauer von zehn ausgewerteten Bewegungszyklen, die jeder Proband pro Bedingung durchführte. Sie gehört zu den gebräuchlichsten Maßen zur Kennzeichnung der Variabilität der wiederholten Handbewegungen (Kuitz-Buschbeck et al., 1998 b). Als Maximalgeschwindigkeit wurde die höchste Geschwindigkeit ermittelt, welche die Hand bei der Bewegung zum Objekt erreichte. Der Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer beschreibt, nach wieviel Prozent der Bewegungsdauer die Maximalgeschwindigkeit erreicht ist. Als mittlere Geschwindigkeit wird die Geschwindigkeit über die ganze Bewegungsdauer ermittelt, welche die Hand bei der Bewegung zum Objekt durchschnittlich erreicht. Die Handgelenkhöhe ist der höchste Punkt des Handgelenkes während der Bewegung über der Nulllinie. Die Nulllinie ist definiert durch den Handgelenksmarker während der Ruheposition der Hand. Die maximale Fingeröffnung ist der größte gemessene Abstand zwischen den Markierungspunkten an Daumen und Zeigefinger. Sie beschreibt die Einstellung der Finger während der Annäherung an das Objekt und ist folglich eine Bewegungskomponente, die durch distale Muskeln gesteuert wird. Der Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung relativ zur Bewegungsdauer beschreibt die Einstellung der Finger während der Annäherung der Hand an das Objekt in Relation zu der Bewegungsdauer, d.h., es wird eine Angabe gemacht, nach wieviel Prozent der Dauer die Finger maximal geöffnet sind. Die Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit beschreibt die Einstellung der Finger während der Annäherung der Hand an das Objekt zum Zeitpunkt der maximalen Greifgeschwindigkeit (Abb. 10). Die maximale Geschwindigkeit der Hand durch den Raum wird durchschnittlich nach 40% der Bewegungsdauer erreicht, während die maximale Fingeröffnung erst nach etwa 2/3 der Bewegungsdauer erreicht wird. Der Parameter Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit ist somit ein Maß für die Öffnung der Hand im frühen Bewegungsablauf, noch bevor die halbe Bewegungsdauer verstrichen ist.

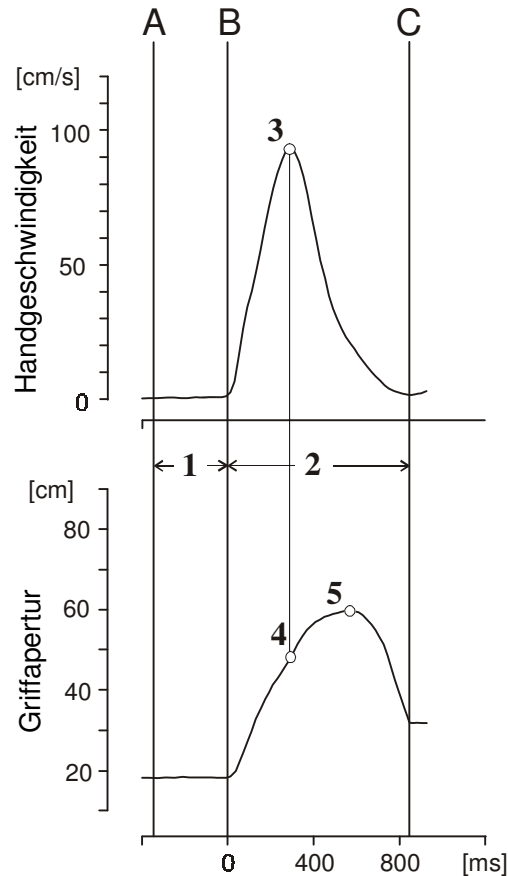


Abb. 10: **Handgeschwindigkeit und Griffapertur.** 1: Reaktionszeit, 2: Bewegungsdauer, 3: Maximalgeschwindigkeit, 4: Grifföffnung bei Maximalgeschwindigkeit, 5: Maximale Fingeröffnung, A: Startsignal, B: Hand up, C: Object up.

Rückbewegung: Die Rückzugszeit ist die Zeit, die vom Ergreifen und Anheben des Objektes mit gleichzeitigem Erlöschen der LED (Kontakt unterbrochen) bis zum Aufsetzen des Objektes ans Ziel vergeht. Die Einfügzeit ist die Zeit, die vom Aufsetzen des Objektes am Ziel (Ende Rückzugszeit) bis zum vollständigen Einfügen des Objektes ins Ziel (LED geht an) vergeht. Die Bewegungsdauer der Rückbewegung setzt sich zusammen aus Rückzugszeit und Einfügzeit. Als Maximalgeschwindigkeit wurde die höchste Geschwindigkeit ermittelt, welche die Hand bei der Bewegung vom Objekt zum Ziel erreicht. Die mittlere Geschwindigkeit ist die durchschnittliche Geschwindigkeit der Hand während der Rückzugszeit. Der Suchweg ist der Weg, der bei der Suche nach dem Ziel für das Objekt zurückgelegt wurde.

### 2.5.3 Statistik

Für die Überprüfung und Untersuchung der Daten wurden mehrere Verfahren der Statistik verwendet. Der Schwerpunkt lag auf nicht-parametrischen Tests, da dies empfohlene Tests für kleine Probandengruppen sind (Bortz, 1993) und da nicht alle Parameter normal verteilt waren. Die statistischen Analysen erfolgten mit Hilfe des Programmes SPSS 10.0 (Statistical Package for the Social Science, SPSS Inc.) für Windows. Unterschiede zwischen dominanter und nicht-dominanter Hand sowie zwischen verschiedenen Bedingungen der Greifbewegungen (z.B. langsam vs. normale Geschwindigkeit, hell vs. dunkel) wurden mit dem Wilcoxon-Test ausgewertet. Zur statistischen Auswertung von Unterschieden zwischen Frauen und Männern wurde der Mann-Whitney U-Test verwendet. Korrelationen wurden mit Hilfe des Koeffizienten nach Spearman ( $\rho$ ), d.h. nicht-parametrisch, beurteilt. Für alle Tests kann ein Signifikanzniveau von  $p < 0.05$  angenommen werden.

Die Ergebnisse kommen wie in folgender Abbildung erläutert als Boxplots zur Darstellung.

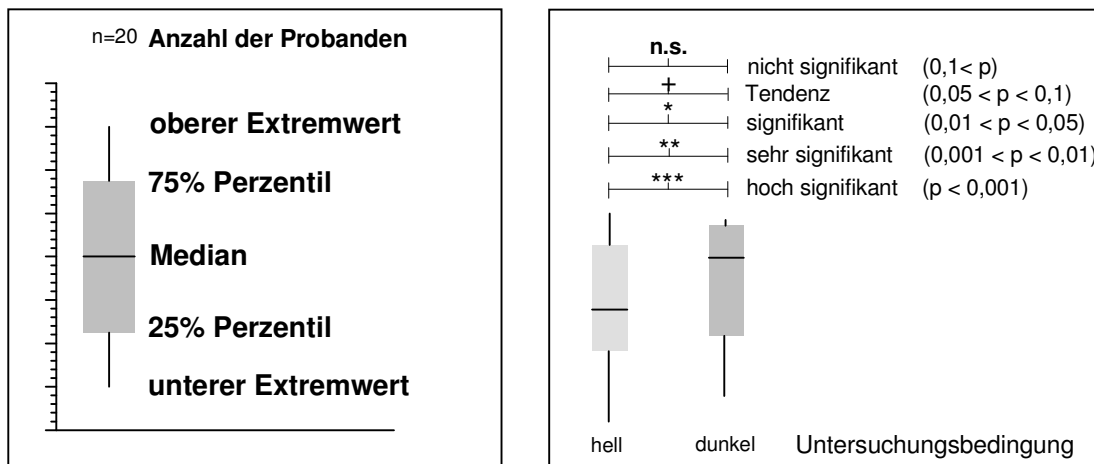


Abb. 11: **Erläuterungen** zu den folgenden Abbildungen. Links: Boxplot mit Angabe des Medians, der Perzentile und der Extremwerte, Rechts: Erläuterungen zu den Signifikanzen.



## 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit gliedern sich in acht Kapitel: erstens in die neurologisch-motorischen und psycho-sozialen Untersuchungen zur Lateralität, bei denen sowohl die kognitiven Unterschiede zwischen Frauen und Männern als auch die Händigkeit getestet wurden; zweitens und drittens folgen dann die Bewegungsanalysen des Greifens, getrennt nach der Hin- und der Rückbewegung. Die 2. u 3. Kapitel sind weiterhin in mehrere Abschnitte eingeteilt. Zunächst werden die Werte der Reaktionszeit und Bewegungsdauer unter verschiedenen Aspekten betrachtet und verglichen. Das Gleiche gilt dann für die Geschwindigkeitsuntersuchung, die Handgelenkhöhe und die Fingeröffnung sowie die Streuungen (intraindividuelle Standardabweichungen, SD). Die Kapitel 4 - 8 enthalten die Zusammenfassung der Werte nach den verschiedenen Bedingungen.

### **3.1 Neurologisch-motorische und psycho-soziale Untersuchungen zur Lateralität**

#### **3.1.1 Händigkeit**

Bei der Feststellung der Händigkeit mit dem Fragebogen, modifiziert nach Oldfield (1971) und Annett (1970) gaben alle Versuchspersonen an, rechtshändig zu sein (siehe auch Tabelle 1, Seite 53). Somit erfüllten sie dieses Einschlusskriterium und auch die sonstigen Voraussetzungen zur Teilnahme an den weiteren Versuchen. Der Paper-Test prüft die feinmotorische Geschicklichkeit und Geschwindigkeit bei schreibähnlichen Bewegungen. Bei diesem Test, in dem so viele Kreuze wie möglich in einer bestimmten Zeit (30 sec.) gemacht werden müssen, zeigt sich ein sehr signifikanter Unterschied zwischen der rechten und der linken Hand ( $p = 0.005$ ). Dies gilt sowohl für die weiblichen als auch für die männlichen

Probanden (Abb. 12a). Der Purdue-Pegboard-Test erfasst die Geschwindigkeit eines repetitiven Bewegungsablaufs, der das Greifen kleiner Gegenstände im Spitzgriff, schnelle Zielbewegungen zu den Stecklöchern, und das kontrollierte Loslassen umfasst. Bei dem Test am Purdue-Pegboard treten bei den Frauen bezüglich der Handdifferenzen die gleichen statistischen Unterschiede auf ( $p = 0.005$ ) wie beim Paper-Test. Die Männer hingegen haben bei diesem Test keine so großen Unterschiede zwischen der rechten und der linken Hand. Sie sind zwar noch signifikant unterschiedlich, aber nur mit  $p = 0.017$  (Abb. 12b).

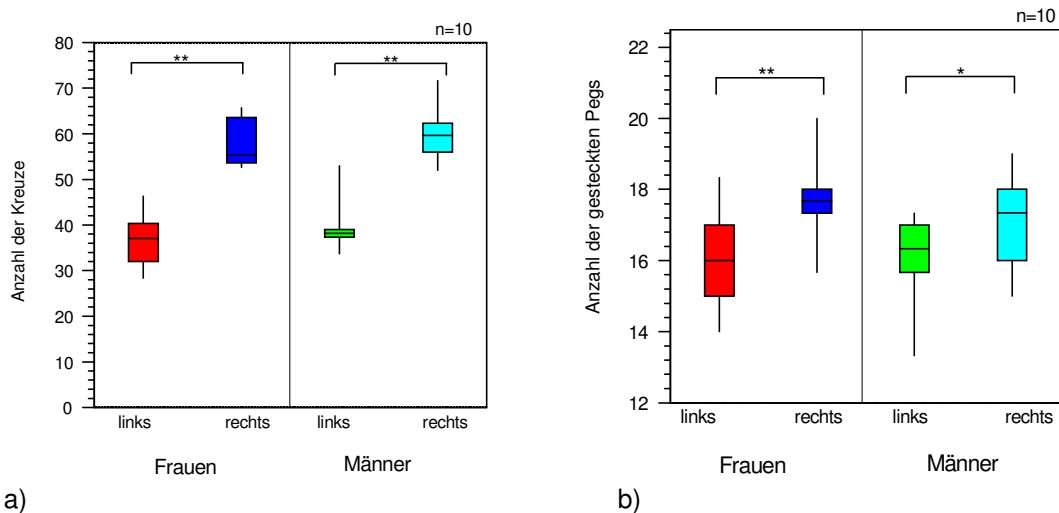


Abb. 12: a) **Paper-Test**, Anzahl der Kreuze, Vergleich zwischen „links“ und „rechts“ und b) **Purdue-Pegboard**, Anzahl der gesteckten Pegs, Vergleich zwischen „links“ und „rechts“. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

Die Unterschiede zwischen den Händen werden also bei den schreib-ähnlichen Bewegungen im Paper-Test deutlicher als beim Purdue-Pegboard-Test. Dies deutet darauf hin, dass die Händigkeit bei Schreib- und Zeichenbewegungen, die von vornherein mit der dominanten Hand erlernt und eingeübt wurden, besonders ausgeprägt ist.

In Tabelle 1 habe ich die einzelnen, von den Versuchspersonen erreichten, Indizes [%] des Lateralitätsfragebogens, des Paper-Tests und des Purdue-Pegboards aufgelistet. Die Zahlen beziehen sich jeweils auf die rechte Hand.

Positive Werte zeigen eine höhere Leistung mit der rechten Hand, negative Werte eine höhere Leistung mit der linken Hand. An den Durchschnittswerten wird deutlich, dass es keinen Unterschied in der Händigkeit zwischen Frauen und Männern gibt. Erstaunlicherweise ist der Gesamtdurchschnitt der Indizes des Paper-Tests um 57 bzw. 83 % größer als die Werte von Annett (1992) und Grosskopf (2000), d.h., dass die Händigkeitsunterschiede bei diesem Probandenkollektiv besonders stark ausgeprägt waren. Dagegen hat sich in den Werten der Handpräferenz nichts geändert.

**Tabelle 1:** Indizes [%] des Fragebogens und der Händigkeitstests bei den beiden verschiedenen Aufgabenstellungen. HP gibt die Handpräferenz an (modifiziert nach Oldfield, 1971 & Annett, 1970). Die Zahlen beziehen sich auf die rechte Hand. Positive Werte zeigen eine höhere Leistung mit der rechten Hand, negative mit der linken. Beim Durchschnitt ist zusätzlich noch die Standardabweichung angegeben. Vergleich mit den Daten von Annett (1992) und Grosskopf (2000).

Individuen	Geschlecht	HP [%]	Paper-Test [%]	Pegboard [%]
101	weiblich	100	20,0	1,9
102	weiblich	87	30,1	3,3
103	weiblich	100	27,0	2,9
104	weiblich	93	22,4	0
105	weiblich	83	20,9	5,3
106	weiblich	93	32,0	6,9
107	weiblich	93	20,2	1,8
108	weiblich	83	26,0	10,6
109	weiblich	87	15,8	7,1
110	weiblich	100	17,4	4,9
201	männlich	93	18,0	1,9
202	männlich	93	15,0	2,9
203	männlich	97	17,6	-2,1
204	männlich	100	23,5	3,2
205	männlich	100	20,3	6,5
206	männlich	100	23,8	0
207	männlich	100	21,4	2,1
208	männlich	87	22,2	5,9
209	männlich	100	25,9	5,0
210	männlich	93	22,4	5,0
Durchschnitt	weiblich	92 ± 6	24 ± 5	5 ± 3
Durchschnitt	männlich	96 ± 4	21 ± 3	3 ± 3
Durchschnitt	gesamt	94 ± 6	22 ± 4	4 ± 3
Annett (1992)	gesamt	-	12 ± 11	-
Grosskopf (2000)	gesamt	94 ± 9	14 ± 5	-

Die erste Hypothese kann somit bestätigt werden: es gibt einen Leistungsunterschied zwischen der rechten und der linken Hand. Die Probanden sind in beiden Tests mit ihrer linken Hand signifikant langsamer als mit ihrer rechten, d.h., sie schaffen weniger Kreuze bzw. Pegs in vorgegebener Zeit.

### **3.1.2 Geschlechterunterschiede**

#### 3.1.2.1 Paper-Test & Purdue-Pegboard-Test

Es gibt weder bei dem Paper-Test noch bei dem Purdue-Pegboard-Test statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Frauen und denen der Männer. In der Abbildung 12a sieht man, dass die Gruppe der Frauen bei der Anzahl der Kreuze eine größere inter-individuelle Streuung aufweist als die der Männer, sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand. Hingegen zeigt sich beim Purdue-Pegboard, wie in Abbildung 12b zu sehen, dass die Frauen bei der Anzahl der gesteckten „Pegs“ zwar links auch wieder eine größere Streuung zeigen als die Männer, aber diesmal bei den Männern bei der rechten Hand eine größere Streuung auftritt als bei den Frauen. Dabei scheint es, bei Betrachtung der Abbildung 12b, dass die Männer einen weniger starken Händigkeitunterschied haben als die Frauen, wobei sich aber keine statistisch signifikante Beeinflussung der Händigkeitsausprägung durch das Geschlecht nachweisen lässt. Frauen und Männer erreichen sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand vergleichbare Resultate, so dass sich auch hier keine statistisch bedeutsamen Geschlechtsdifferenzen ergeben.

Die Hypothese, dass es Unterschiede zwischen den Geschlechtern bezüglich der Händigkeit und der geprüften feinmotorischen Leistung gibt, kann somit nicht bestätigt werden.



3.1.2.2 Schlauchfiguren-Test

Bei dem Schlauchfiguren-Test (Abb. 13) gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern, wobei in der Graphik deutlich zu sehen ist, dass die Ergebnisse der Frauen eine größere Streuung aufweisen als die der Männer.

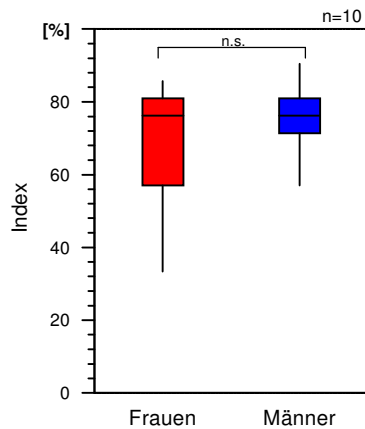
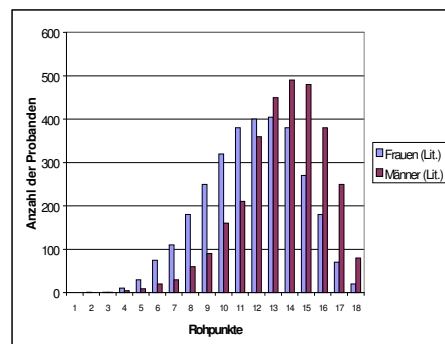
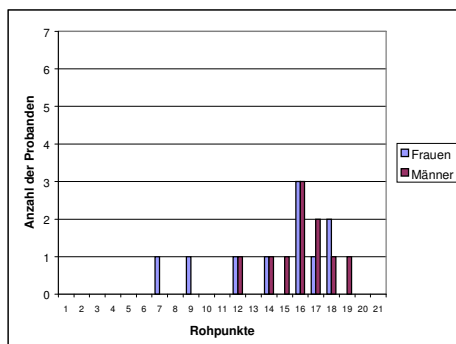


Abb. 13: **Schlauchfiguren-Test 1**  
 Prozentuale Verteilung der richtigen Antworten, getrennt nach Frauen und Männern. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

Die Abbildungen 14 a) und b) zeigen die Rohpunkteverteilung des Schlauchfiguren-Tests bei den Probanden der vorliegenden Studie sowie auch die Werte von Stumpf und Fay (1983). Die Werte des hier untersuchten Probandenkollektivs sprechen nicht für ein besseres räumliches Vorstellungsvermögen der Männer, wie es nach Angaben von Stumpf und Fay erwartet werden könnte. Allerdings liegen die Daten der Probanden im Bereich zuvor publizierter Werte. Auch hier kann die Hypothese nicht bestätigt werden.



a)

b)

Abb. 14: **Schlauchfiguren-Test 2** Verteilung der Rohpunktwerte bei einem Testsatz a) von 21 „Schlauchfiguren“ von den Probanden der vorliegenden Studie und b) von 18 „Schlauchfiguren“ von Stumpf und Fay (1983).

### 3.1.2.3 „Word-fluency“-Test

Bei dem Test zur „Word-fluency“ zeigt sich kein statistisch signifikanter Geschlechterunterschied (Abb. 15) in der Anzahl der gefundenen Wörter. Im Median sind aber die männlichen Probanden um einen Punkt (= Wort) besser als die weiblichen.

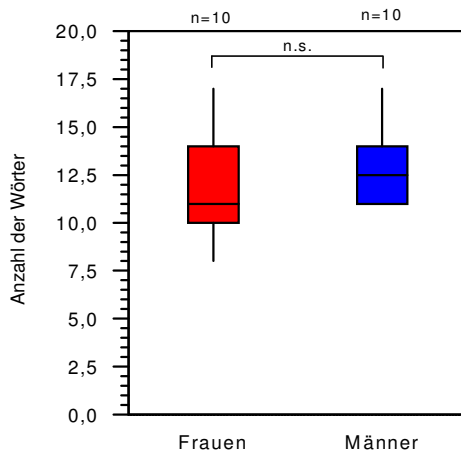


Abb. 15: „**Word-fluency**“-Test. Anzahl der aufgeschriebenen Wörter, Vergleich zwischen Frauen und Männern. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

Eine sprachliche Überlegenheit der weiblichen Teilnehmer, wie sie andernorts postuliert wurde (Kimura, 1973), lässt sich also bei diesem Kollektiv nicht nachvollziehen und somit muss auch die vierte Hypothese verworfen werden.

### 3.1.2.4 Selbsteinschätzungs-Test

Bei dem Selbsteinschätzungs-Test stellt sich heraus, dass sich 60% der Männer und 70% der Frauen androgyn einschätzen, während sich 30% der Männer für maskulin und 20% der Frauen für feminin halten. 10% der Männer schätzen sich feminin ein und 10% der Frauen sind undifferenziert. Auf dieses Ergebnis wird in der Diskussion noch weiter eingegangen.

## 3.2 Kinematische Analyse der Hinbewegung

Die Versuchspersonen haben die Aufgabe, erstens so schnell und auch so präzise wie möglich („schnell“), zweitens mit ihrer normalen Greifgeschwindigkeit („normal“) und drittens mit einer verlangsamten Geschwindigkeit („langsam“) das Objekt zu greifen und aus seiner Position in die vorgegebene Zielposition zu transportieren (siehe Abb. 8, Seite 42). Im folgenden beschreibe ich die Greifbewegung getrennt nach Hin- und Rückbewegungen. Die Bewegungen werden unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet und statistisch analysiert.

### 3.2.1 Originaldaten

Die folgenden Graphiken 16-24 zeigen Originaldaten von einem Probanden, der mit der rechten Hand unter der Bedingung „hell“ bei verschiedenen Bewegungsgeschwindigkeiten jeweils zehnmal greift. In Abbildung 16, 18 und 20 sieht man die Kurven der Fingeröffnung des Probanden, bei allen drei vorgegebenen Geschwindigkeiten. Hier erkennt man, dass die Fingeröffnung bei der Bedingung „schnell“ am gleichmäßigsten ist und die größten Maximalwerte erreicht. Die Graphiken 17, 19 und 21 veranschaulichen Geschwindigkeitsprofile der Gesamtbewegung, also der Hin- und Rückbewegung. Auch hier kann man die Reproduzierbarkeit der Kurven bei der Vorgabe „schnell“ erkennen. Abbildung 22-24 zeigen für die Hinbewegung das Verhältnis von Geschwindigkeit zur Fingeröffnung in allen drei vorgegebenen Geschwindigkeiten. Sie stellen dar, wie die Geschwindigkeit der Hand durch den Raum (y-Achsen) mit der gleichzeitigen Öffnungs-Schließungsbewegung der greifenden Finger (x-Achse) koordiniert ist. Dabei sieht man, dass unter der Bedingung „schnell“ die Koordination am gleichmäßigsten ist.

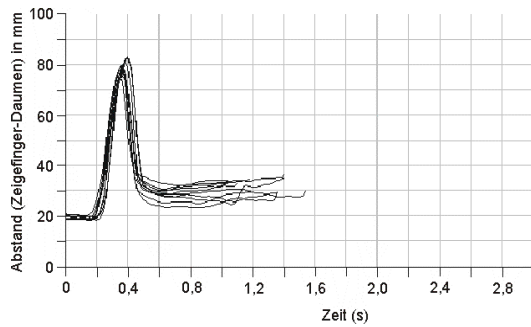


Abb. 16: **Fingeröffnung** der rechten Hand bei schnellem Greifen.

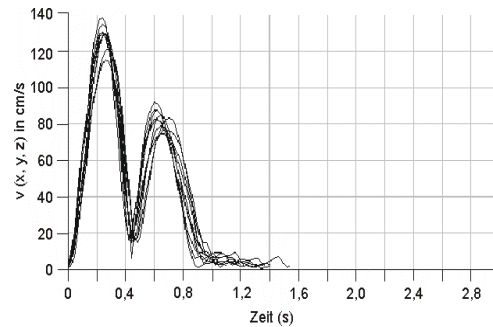


Abb. 17: **Geschwindigkeit** der rechten Hand bei schnellem Greifen (Hin- und Rückbewegung).

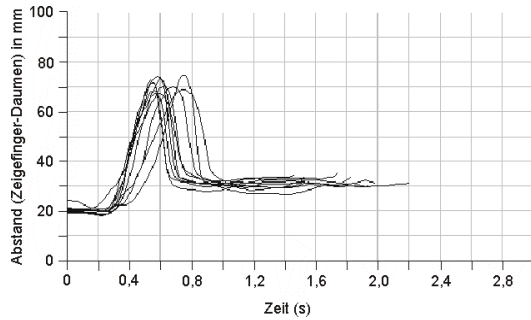


Abb. 18: **Fingeröffnung** der rechten Hand bei normalem Greifen.

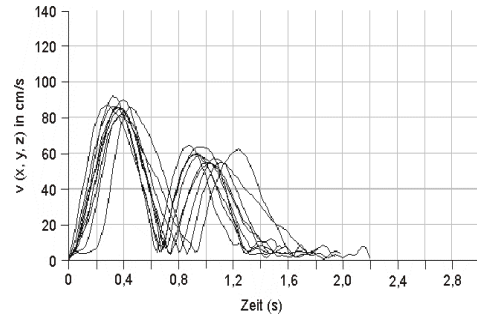


Abb. 19: **Geschwindigkeit** der rechten Hand bei normalem Greifen (Hin- und Rückbewegung).

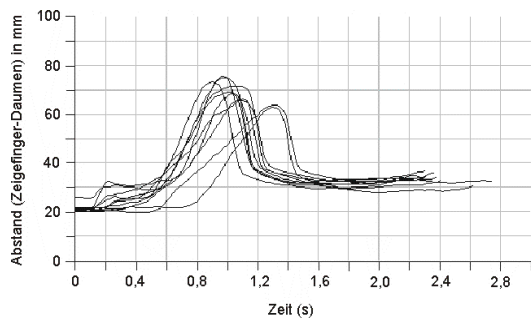


Abb. 20: **Fingeröffnung** der rechten Hand bei langsamem Greifen.

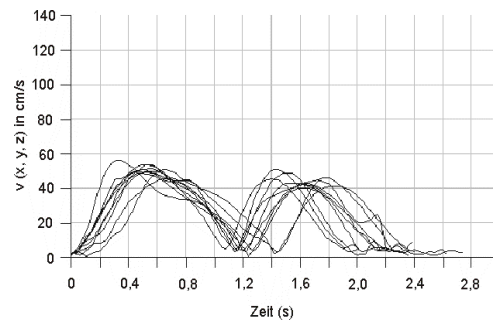


Abb. 21: **Geschwindigkeit** der rechten Hand bei langsamem Greifen (Hin- und Rückbewegung).

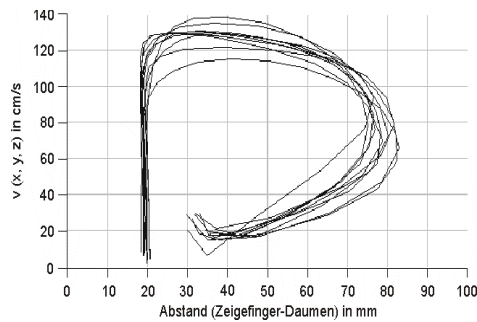


Abb. 22: **Verhältnis Geschwindigkeit-Fingeröffnung** der rechten Hand bei schnellem Greifen.

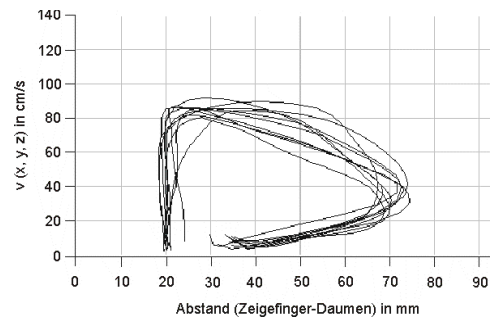


Abb. 23: **Verhältnis Geschwindigkeit-Fingeröffnung** der rechten Hand bei normalem Greifen.

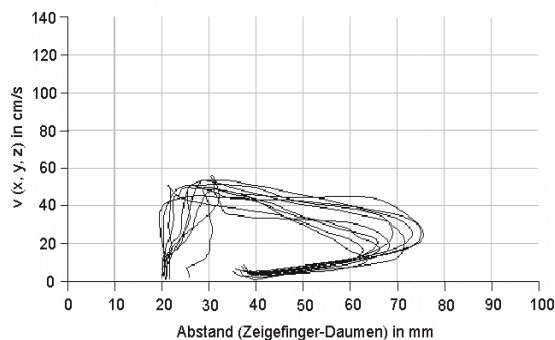


Abb. 24: **Verhältnis Geschwindigkeit-Fingeröffnung** der rechten Hand bei langsamem Greifen.

### 3.2.2 Reaktionszeit

Die Reaktionszeit ist die Zeit, die vom Ertönen des Startsignals bis zum Beginn der Bewegung vergeht (siehe Abb. 9, Seite 45).

#### Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

Bei Betrachtung der Mittelwerte wird erkennbar, dass die linke Hand, mit einer Ausnahme bei der Bedingung "langsam" im Hellen, tendenziell immer eine kürzere Reaktionszeit aufweist als die rechte (Tabelle 2). Nach dem Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben kann man aber sagen, dass es bei der Reaktionszeit keine signifikanten Differenzen zwischen der rechten und der linken Hand gibt. Die durchschnittliche Reaktionszeit nimmt mit zunehmender

Geschwindigkeit der Gesamtbewegung signifikant ( $p = 0.000$ ) und kontinuierlich ab. Dies gilt sowohl für die Reaktionszeiten im Hellen als auch im Dunkeln (Abb. 25).

**Tabelle 2: Reaktionszeit** der rechten und linken Hand, im Hellen und im Dunkeln; für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite ( $n = 20$ ).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert $\pm$ SD	203 $\pm$ 45 ms	201 $\pm$ 63 ms	230 $\pm$ 63 ms	214 $\pm$ 57 ms
	(Spannweite)	142 - 296 ms	118 - 362 ms	148 - 352 ms	133 - 315 ms
„normal“	Mittelwert $\pm$ SD	340 $\pm$ 195 ms	310 $\pm$ 91 ms	352 $\pm$ 143 ms	311 $\pm$ 108 ms
	(Spannweite)	129 - 1024 ms	176 - 573 ms	200 - 842 ms	160 - 576 ms
„langsam“	Mittelwert $\pm$ SD	519 $\pm$ 160 ms	429 $\pm$ 135 ms	514 $\pm$ 147 ms	432 $\pm$ 154 ms
	(Spannweite)	194 - 790 ms	184 - 706 ms	312 - 850 ms	277 - 771 ms

### Effekte des Lichts

Wie in Abbildung 25 ersichtlich, gibt es einen geringen Effekt der Lichtverhältnisse auf die Reaktionszeit der Probanden. Beim Vergleich der Werte für „hell“ und „dunkel“ wird deutlich, dass die Reaktionszeiten im Dunkeln immer kürzer sind als die im Hellen. Bei der langsamen Geschwindigkeit erreicht diese Differenz statistische Signifikanz, sowohl für die rechte ( $p = 0.012$ ) als auch für die linke Hand ( $p = 0.016$ ). Dies ist möglicherweise dadurch zu erklären, dass das Startsignal hierbei durch einen doppelten (akustischen und visuellen, da Lichtwechsel) Reiz erfolgt, während unter Sichtbedingungen nur das Tonsignal ertönt.

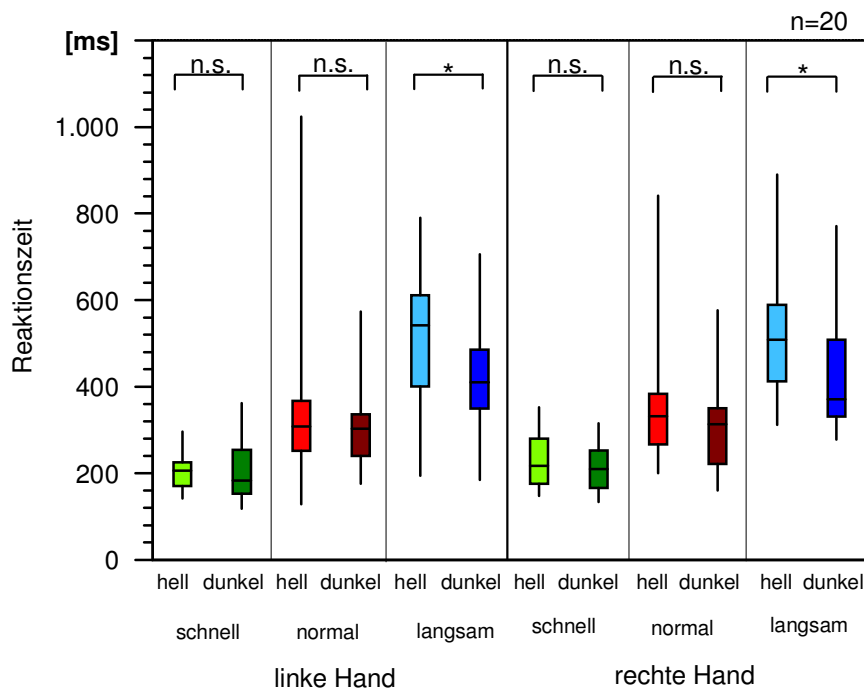


Abb. 25: **Reaktionszeit.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Nach dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben konnte ich bei Betrachtung der einzelnen Bedingungen keine statistischen Unterschiede zwischen den Reaktionszeiten der Männer und denen der Frauen feststellen. Allenfalls zeigt sich, dass die Frauen eine Tendenz zur schnelleren Reaktion haben. Die zusammengefassten Daten aller 12 Bedingungen zeigen eine signifikant ( $p = 0.05$ ) kürzere Reaktionszeit der Frauen (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### 3.2.3 Bewegungsdauer

Als Bewegungsdauer der Hinbewegung wird die Zeit vom Beginn der Bewegung der Hand bis zum Fassen und Abheben des Objekts (LED erlischt) gemessen (siehe hierzu auch Abb. 9, Seite 45).

### Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

Bei der Bewegungsdauer gibt es keine statistischen Differenzen zwischen den Werten der rechten und der linken Hand. Die Mittelwerte (Tabelle 3) zeigen allerdings, dass die linke Hand meistens eine Tendenz zu einer längeren Bewegungsdauer aufweist als die rechte Hand. Es gibt jedoch zwei Ausnahmen, und zwar beim Greifen mit normaler Geschwindigkeit im Hellen und bei der langsamen Bewegung im Dunkeln weist die linke Hand kürzere Bewegungszeiten auf als die rechte Hand. Erwartungsgemäß gibt es eine sehr deutliche Verkürzung der Bewegungsdauer mit zunehmender Geschwindigkeit (Abb. 26). Die Unterschiede zwischen den Bedingungen „schnell“, „normal“ und „langsam“ waren hoch signifikant ( $p = 0.000$ ). Dies gilt sowohl für die Bewegungsdauer im Hellen als auch im Dunkeln. Die gemessenen Bewegungszeiten stimmen recht gut mit den Richtwerten überein, die bei der Einübung der Geschwindigkeitsstufen durch Tonsignale angegeben worden sind: „schnell“ = 500 ms und „langsam“ = 1500 ms.

**Tabelle 3: Bewegungsdauer** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite ( $n = 20$ ).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert $\pm$ SD	597 $\pm$ 105 ms	777 $\pm$ 160 ms	573 $\pm$ 113 ms	764 $\pm$ 193 ms
	(Spannweite)	434 - 792 ms	476 - 1046 ms	346 - 788 ms	424 - 1037 ms
„normal“	Mittelwert $\pm$ SD	1034 $\pm$ 202 ms	1251 $\pm$ 234 ms	1063 $\pm$ 223 ms	1223 $\pm$ 275 ms
	(Spannweite)	627 - 1412 ms	660 - 1593 ms	746 - 1474 ms	862 - 1854 ms
„langsam“	Mittelwert $\pm$ SD	1884 $\pm$ 461 ms	1849 $\pm$ 300 ms	1866 $\pm$ 384 ms	1914 $\pm$ 364 ms
	(Spannweite)	1124 - 2804 ms	1246 - 2440 ms	1242 - 2902 ms	1133 - 2529 ms

### Effekte des Lichts

Die Graphik 26 zeigt die deutliche Wirkung der Lichtverhältnisse auf die Bewegungsdauer der Probanden. Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand gibt es statistisch hochsignifikante ( $p = 0.000$ ) bzw. sehr signifikante ( $p = 0.007$ , bei der Bedingung rechts „normal“) Unterschiede. Im Dunkeln ist dementsprechend bei beiden Händen die Bewegungsdauer



länger, d.h. hier braucht der Proband ohne visuelle Kontrolle längere Zeit bis zum Erfassen des Objektes als im Hellen. Nur bei der Bedingung „langsam“ sind keine signifikanten Unterschied zu ermitteln.

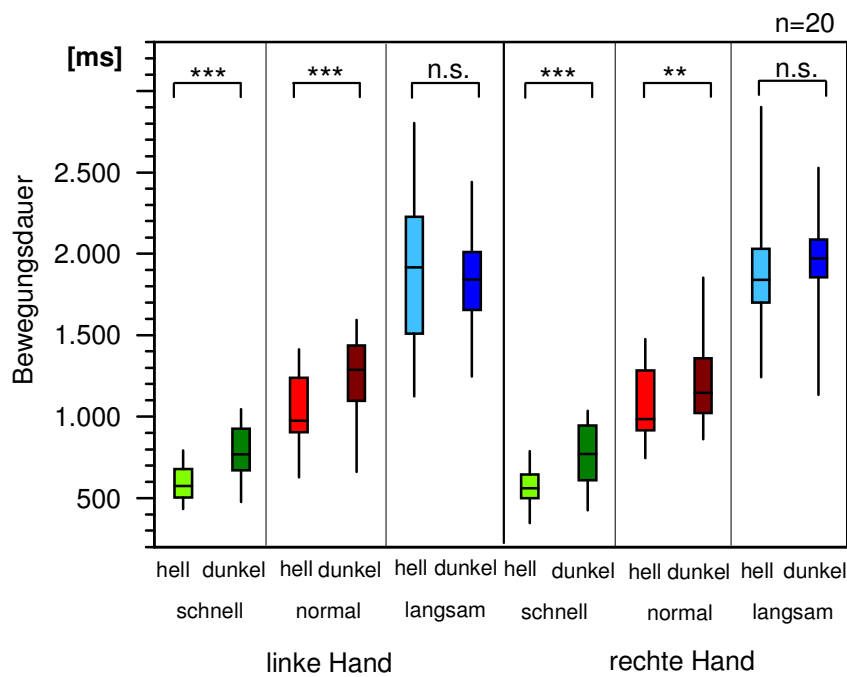


Abb. 26: **Bewegungsdauer.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Bei der Bewegungsdauer kann ich bei Auswertung der Einzelbedingungen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Zeiten der Frauen und denen der Männer erkennen. Auch die zusammengefassten Werte ergeben keine signifikanten Differenzen, obwohl der Mittelwert der Männer etwas unter dem der Frauen liegt (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### 3.2.4 Streuung der Bewegungsdauer

Die Streuung ist die Standardabweichung der Dauer von zehn Bewegungszyklen, die jeder Proband pro Bedingung durchführte. Sie kennzeichnet die intraindividuelle Variabilität der wiederholten Handbewegungen.

### Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

Es ist ein deutlicher Geschwindigkeitseffekt zu erkennen. Die Streuung der Bewegungsdauer nimmt mit zunehmender Dauer hochsignifikant ( $p = 0.000$ ) zu, d.h., die wiederholten langsamen Bewegungen werden weniger gleichförmig durchgeführt als die schnellen Bewegungen. Dies gilt sowohl im Hellen als auch im Dunkeln. Die Streuung der Bewegungsdauer beim Greifen im Dunkeln ist größer als im Hellen (Abb. 27). Dies zeigt sich besonders deutlich bei schnellen Bewegungen ( $p < 0.001$ ). Nach der Durchführung des Wilcoxon-Tests zeigt sich, dass es bei der Streuung der Bewegungsdauer, mit einer Ausnahme, keine Differenzen zwischen der rechten und der linken Hand gibt. Nur unter der Bedingung „schnell“ im Hellen zeigt sich ein Trend ( $p = 0.067$ ), dass die rechte Hand eine kleinere Streuung der Bewegungsdauer hat. Ansonsten lässt sich keine eindeutige Tendenz in den Mittelwerten erkennen.

**Tabelle 4: Streuung der Bewegungsdauer** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite ( $n=20$ ).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert $\pm$ SD	40 $\pm$ 15 ms	81 $\pm$ 32 ms	32 $\pm$ 12 ms	85 $\pm$ 46 ms
	(Spannweite)	17 - 76 ms	30 - 149 ms	14 - 58 ms	25 - 210 ms
„normal“	Mittelwert $\pm$ SD	68 $\pm$ 21 ms	151 $\pm$ 72 ms	90 $\pm$ 38 ms	127 $\pm$ 66 ms
	(Spannweite)	46 - 112 ms	31 - 282 ms	42 - 181 ms	66 - 300 ms
„langsam“	Mittelwert $\pm$ SD	165 $\pm$ 62 ms	197 $\pm$ 56 ms	174 $\pm$ 51 ms	220 $\pm$ 90 ms
	(Spannweite)	57 - 318 ms	116 - 321 ms	67 - 237 ms	67 - 434 ms

### Effekte des Lichts

Hier wird der Effekt der Lichtverhältnisse deutlich; im Dunkeln verzeichne ich bei allen Geschwindigkeitsstufen stets eine signifikant bzw. schwach signifikant höhere Streuung als im Hellen (Abb. 27). Der Effekt der Sichtbedingung zeigt sich auch, wenn man die Variabilität in Relation zur Bewegungsdauer setzt. So beträgt die Streuung beim Greifen im Hellen ca. 5-9% der

Bewegungsdauer sowohl bei „langsam“, als auch bei „normaler“ und „schneller“ Ausführung der Greifbewegung. Beim Greifen im Dunkeln erhöht sich dieser Wert auf 10-15%. Unter visueller Kontrolle werden die Bewegungen demnach exakter reproduziert.

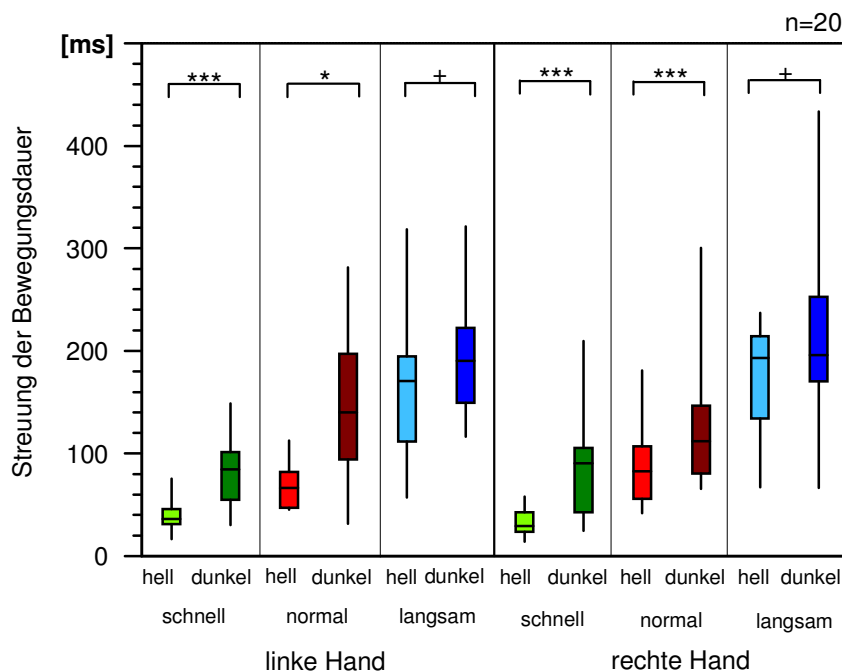


Abb. 27: **Streuung der Bewegungsdauer.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Bei der Streuung der Bewegungsdauer kann ich weder bei Betrachtung der Einzelbedingungen noch in der Gesamtübersicht statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Werten der Frauen und denen der Männer erkennen (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### 3.2.5 Maximalgeschwindigkeit

Als Maximalgeschwindigkeit wurde die höchste Geschwindigkeit ermittelt, welche die Hand bei der Bewegung zum Objekt erreichte.

### Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

Zwischen der rechten und der linken Hand ist ein signifikanter Unterschied ( $p = 0.04$ ) lediglich unter der Bedingung „schnell“ im Hellen festzustellen (Tabelle 5). Dagegen kann ich bei den anderen zwei Bedingungen keine Händigkeitsunterschiede ersehen. Unter der Bedingung „dunkel“ ist bei allen drei Geschwindigkeitsbedingungen kein Unterschied zwischen den Händen auszumachen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es bei der Maximalgeschwindigkeit der Bewegung so gut wie keine Differenzen zwischen der rechten und der linken Hand gibt. Die einzige Ausnahme zeigt sich bei der Bedingung „rechts schnell“. Die Mittelwerte zeigen allerdings, dass die rechte Hand immer tendenziell höhere Geschwindigkeiten aufweist als die linke (Tabelle 5). Sowohl bei der Handbewegung im Hellen als auch im Dunkeln nimmt der Wert der durchschnittlichen Maximalgeschwindigkeit mit zunehmender Geschwindigkeit (Vorgabe) hochsignifikant ( $p = 0.000$ ) zu. Somit haben die Versuchspersonen die Anweisungen richtig ausgeführt.

**Tabelle 5: Maximale Geschwindigkeit** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite ( $n= 20$ ).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert $\pm$ SD	109 $\pm$ 25 cm/s	102 $\pm$ 18 cm/s	114 $\pm$ 27 cm/s	107 $\pm$ 25 cm/s
	(Spannweite)	72 - 161 cm/s	71 - 135 cm/s	70 - 169 cm/s	78 - 168 cm/s
„normal“	Mittelwert $\pm$ SD	66 $\pm$ 15 cm/s	69 $\pm$ 15 cm/s	67 $\pm$ 17 cm/s	72 $\pm$ 16 cm/s
	(Spannweite)	47 - 91 cm/s	46 - 107 cm/s	42 - 105 cm/s	53 - 107 cm/s
„langsam“	Mittelwert $\pm$ SD	37 $\pm$ 11 cm/s	42 $\pm$ 10 cm/s	37 $\pm$ 9 cm/s	45 $\pm$ 13 cm/s
	(Spannweite)	22 - 61 cm/s.	26 - 64 cm/s	24 - 54 cm/s	27 - 77 cm/s

### Effekte des Lichts

Wie man in Abbildung 28 erkennen kann, üben die Lichtverhältnisse einen leichten Effekt auf die Maximalgeschwindigkeit der Greifbewegung der Probanden aus. Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand gibt es statistisch signifikante bzw. tendenzielle Unterschiede, die aber nicht in eine Richtung

weisen, sondern von Bedingung zu Bedingung schwanken. Nur bei der Bedingung „normal“ der linken Hand sind keine signifikanten Differenzen zu erkennen.

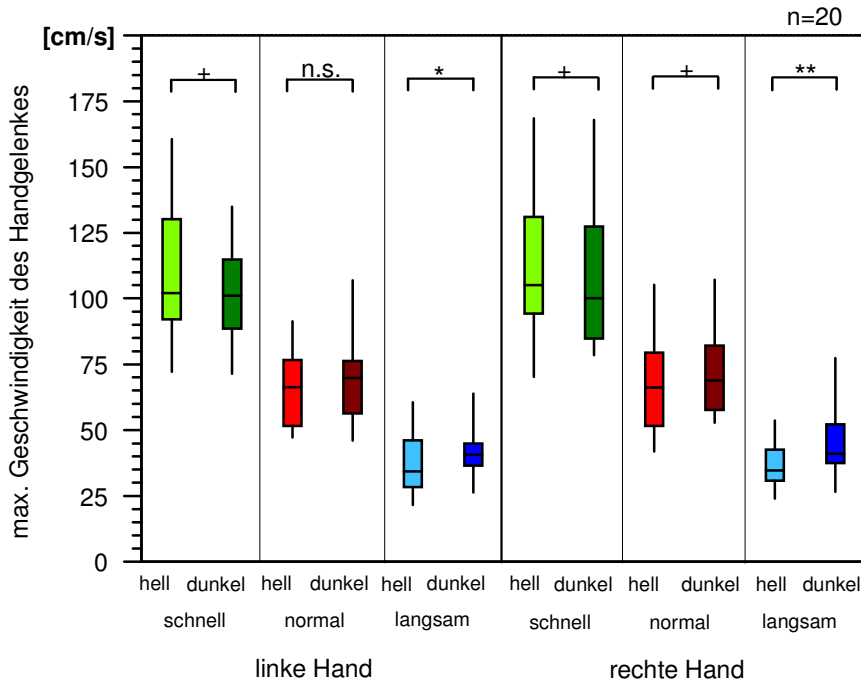


Abb. 28: **Maximale Geschwindigkeit der Hand.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

Bei „langsamen“ und bei „normalen“ Bewegungsabläufen ist die Geschwindigkeit im Dunkeln höher als im Hellen, möglicherweise, um sich rasch dem Ziel zu nähern, bevor die Erinnerung an die vorher gesehene Position verblasst. Diese höheren Geschwindigkeitsmaxima führen aber nicht zu einer bedeutsamen Verkürzung der Bewegungsdauer, erbringen demnach keine Zeitersparnis (siehe Tabelle 3, Seite 62). Beim schnellen Greifen werden allerdings im Dunkeln niedrigere Geschwindigkeitsmaxima als im Hellen erreicht, wobei der Faktor der Unsicherheit unter dieser Bedingung des Zeitdrucks eine Rolle spielen mag.

#### Effekte des Geschlechts

Nach dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben kann ich in zwei von zwölf Bedingungen statistische Unterschiede zwischen der Maximal-

geschwindigkeit der Männer und der der Frauen beim Greifen feststellen. Männer sind schneller als Frauen beim Greifen mit der rechten Hand unter der Bedingung „schnell“ im Hellen ( $p = 0.023$ ) und mit der linken Hand unter der Bedingung „schnell“ im Dunkeln mit  $p = 0.034$ . Auch die Zusammenfassung aller Bedingungen zeigt die Tendenz, dass die Männer eine höhere Geschwindigkeit aufweisen (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### 3.2.6 Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer

Dieser Wert beschreibt den Zeitpunkt höchster Geschwindigkeit in Relation zur Bewegungsdauer der Hinbewegung. Es wird eine Angabe gemacht, nach wieviel Prozent der Bewegungsdauer die Maximalgeschwindigkeit erreicht ist. Auf die Angabe der absoluten Zeitwerte wird verzichtet, da diese wegen der variablen Bewegungsdauer (Tabelle 3, Seite 62) weniger aussagekräftig sind und sich außerdem an Hand der Prozentzahlen leicht errechnen lassen, so dass eine gesonderte Auflistung redundant wäre.

Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 6: Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite ( $n = 20$ ).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert $\pm$ SD	42 $\pm$ 6 %	34 $\pm$ 6 %	44 $\pm$ 6 %	36 $\pm$ 7 %
	(Spannweite)	30 - 54 %	23 - 50 %	36 - 56 %	26 - 58 %
„normal“	Mittelwert $\pm$ SD	38 $\pm$ 5 %	30 $\pm$ 5 %	37 $\pm$ 6 %	30 $\pm$ 5 %
	(Spannweite)	30 - 49 %	25 - 45 %	30 - 49 %	23 - 45 %
„langsam“	Mittelwert $\pm$ SD	33 $\pm$ 8 %	29 $\pm$ 5 %	31 $\pm$ 6 %	28 $\pm$ 6 %
	(Spannweite)	20 - 44 %	20 - 39 %	21 - 42 %	20 - 41 %

Tendenzielle Unterschiede ( $p = 0.057$ ) zwischen der rechten und der linken Hand tauchen unter der Bedingung „schnell“ im Hellen auf. Hier erreicht die linke Hand den Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit früher als die rechte. Dagegen lässt sich bei den anderen zwei Bedingungen kein

Händigkeitsunterschied erkennen. Auch unter der Bedingung „dunkel“ kann bei allen drei Geschwindigkeiten keine Unterschiede zwischen den Händen ausgemacht werden. Der durchschnittliche Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit liegt mit zunehmender Verlängerung der Gesamtbewegung signifikant ( $p < 0.01$ ) näher am Bewegungsbeginn (siehe Tabelle 6). Dies gilt im Hellen, während im Dunkeln es bei dem Vergleich zwischen den Bedingungen „normal“ und „langsam“ keinen signifikanten Unterschied gibt.

#### Effekte des Lichts

Es zeigt sich ein deutlicher Effekt der Lichtverhältnisse auf den Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer der Probanden. Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand gibt es statistisch hochsignifikante ( $p = 0.000$ ) bzw. sehr signifikante Unterschiede ( $p = 0.005$ , Abb. 29). Im Dunkeln ist bei beiden Händen der Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer früher, d.h. bei fehlender visueller Kontrolle verlängert sich der Zeitabschnitt, während dessen die Vorwärtsbewegung der sich dem Ziel nähernden Hand nach Passieren des Geschwindigkeitsmaximums abgebremst wird. Diese Verlängerung der Bremsphase gilt sowohl relativ zur gesamten Bewegungsdauer als auch für die absolute Dauer.

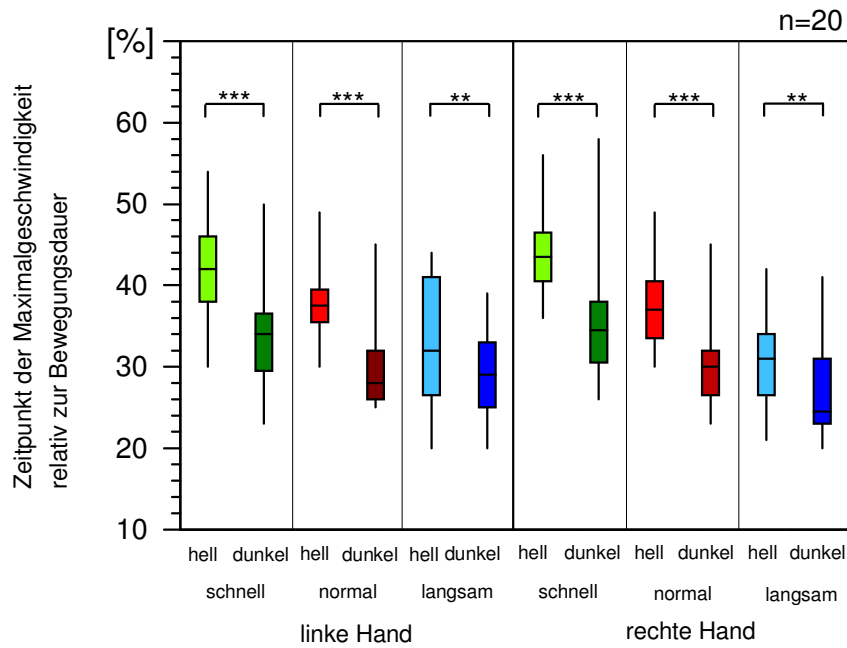


Abb. 29: **Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Bei allen Bedingungen zeigt sich, dass der Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit bei den Frauen früher liegt als bei den Männern. Signifikant werden diese Differenzen bei der Bedingung „schnell“, und zwar sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand im Hellen, ebenso bei der linken Hand im Dunkeln. Auch die zusammenfassende Auswertung aller Bedingungen zeigt, dass Frauen die Vorwärtsbewegung der greifenden Hand signifikant früher abzubremsen beginnen als Männer (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### 3.2.7 Mittlere Geschwindigkeit

Als mittlere Geschwindigkeit wird die Geschwindigkeit über die ganze Bewegungsdauer ermittelt, welche die Hand bei der Bewegung zum Objekt durchschnittlich erreicht.



Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

Einen signifikanten Unterschied ( $p = 0.048$ ) der Hände, der auf eine schnelle Bewegung der dominanten Rechten hinweist, kann ich, ähnlich wie bei der Maximalgeschwindigkeit unter der Bedingung „schnell“, nur im Hellen registrieren. Dagegen sind bei den anderen zwei Geschwindigkeitsbedingungen keine Händigkeitunterschiede erkennbar. Auch unter der Bedingung „Dunkel“ kann ich lediglich bei „schnell“ eine Tendenz zur höheren Geschwindigkeit der rechten Hand ausmachen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei der mittleren Geschwindigkeit der Bewegung so gut wie keine Differenzen zwischen der rechten und der linken Hand vorhanden sind. Auch bei Betrachtung der Mittelwerte (Tabelle 7) erkennt man keine Unterschiede. Erwartungsgemäß nimmt sowohl bei der Handbewegung im Hellen als auch im Dunkeln der Wert der durchschnittlichen mittleren Geschwindigkeit mit zunehmender vorgegebener Geschwindigkeit hochsignifikant ( $p = 0.000$ ) zu (Abb. 30).

**Tabelle 7: Mittlere Geschwindigkeit** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite ( $n= 20$ ).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert $\pm$ SD	56 $\pm$ 13 cm/s	46 $\pm$ 12 cm/s	60 $\pm$ 15 cm/s	48 $\pm$ 16 cm/s
	(Spannweite)	39 - 81 cm/s	31 - 80 cm/s	37 - 92 cm/s	31 - 88 cm/s
„normal“	Mittelwert $\pm$ SD	33 $\pm$ 8 cm/s	28 $\pm$ 7 cm/s	33 $\pm$ 8 cm/s	29 $\pm$ 7 cm/s
	(Spannweite)	22 - 51 cm/s	22 - 50 cm/s	21 - 48 cm/s	19 - 44 cm/s
„langsam“	Mittelwert $\pm$ SD	19 $\pm$ 5 cm/s	19 $\pm$ 3 cm/s	19 $\pm$ 4 cm/s	19 $\pm$ 6 cm/s
	(Spannweite)	13 - 29 cm/s.	13 - 28 cm/s	13 - 30 cm/s	13 - 33 cm/s

Effekte des Lichts

Die Graphik 30 zeigt anschaulich, dass es im Gegensatz zur Maximalgeschwindigkeit, einen deutlichen Effekt der Lichtverhältnisse auf die mittlere Geschwindigkeit der Greifbewegung der Versuchspersonen gibt.

Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand finden sich statistisch hochsignifikante ( $p = 0.000$ ) bzw. signifikante Unterschiede (Abb. 30, rechts normal). Im Dunkeln haben demnach beide Händen langsamere mittlere Geschwindigkeiten. Diese Werte der mittleren Geschwindigkeit passen zu denen der Bewegungsdauer (siehe Abb. 26, Seite 63), die insbesondere bei den schnellen und normalen, nicht aber bei den langsamen Bewegungsabläufen im Dunkeln signifikant verlängert waren. Nur bei der Bedingung „langsam“ konnte ich weder für rechts noch für links einen signifikanten Unterschied feststellen.

Interessanterweise zeigten sich lichtabhängige Differenzen der Bewegungsgeschwindigkeit eher an den mittleren Geschwindigkeitswerten (Abb. 30) als an den Maximalwerten (siehe Abb. 28, Seite 66). Der Grund dafür lässt sich an einem Beispiel erläutern:

Im Hellen, unter der Vorgabe „normal“, wird die Maximalgeschwindigkeit nach ca. 400 ms erreicht, dann erfolgt das Abbremsen bis zum Fassen des Objekts nach ca. weiteren 600 ms (siehe Tabelle 3, Seite 62). Im Dunkeln wird die gleiche Maximalgeschwindigkeit etwa zum gleichen Zeitpunkt erreicht (etwas früher, 360 ms); der folgende Teil der Bewegung ist aber um ca. 200 ms verlängert und wird aufgrund der Unsicherheit bei fehlender visueller Kontrolle mit langsamer Geschwindigkeit der „suchenden Hand“ im Raum durchgeführt. Dieser zweite abbremsende und suchende Teil der Bewegung wird nicht bei der Berechnung der maximalen, wohl aber bei der mittleren Geschwindigkeit berücksichtigt und setzt letztere herab. Er führt auch zu einer Verlängerung der gesamten Bewegungsdauer im Dunkeln, zumindest unter den Bedingungen „schnell“ und „normal“ (siehe Abb. 26, Seite 63).

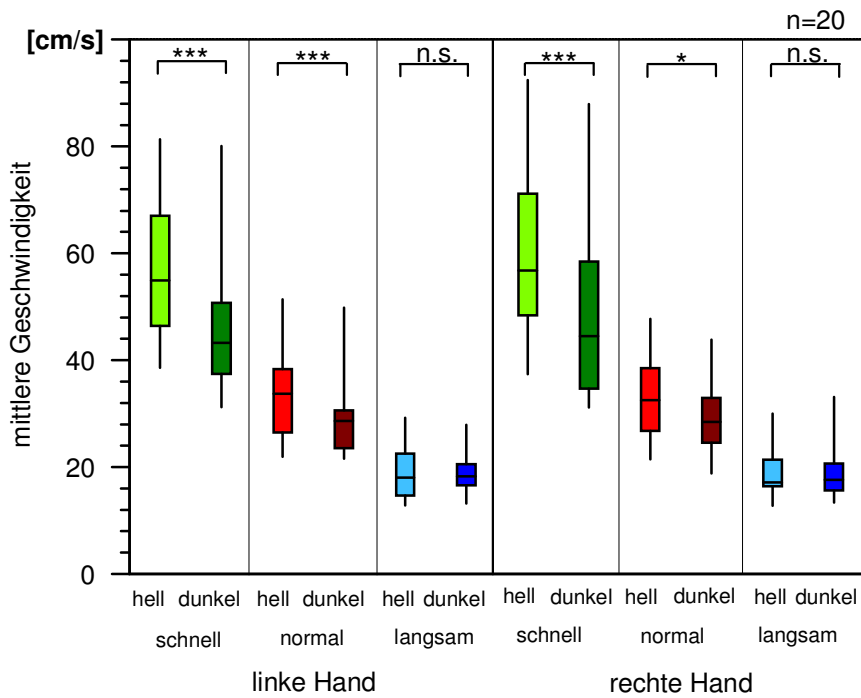


Abb. 30: **Mittlere Geschwindigkeit der Hand.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

In gleicher Weise wie bei den Geschwindigkeitsmaxima, ergibt sich bei der mittleren Geschwindigkeit die Tendenz, dass Männer eine höhere Geschwindigkeit während des Greifvorganges aufweisen. Es zeigen sich signifikante Differenzen der Bedingung „schnell“, sowohl bei der rechten ( $p = 0.028$ ), bei der linken Hand ( $p = 0.034$ ) im Hellen als auch bei der linken Hand im Dunkeln ( $p = 0.028$ ). Die zusammengefasste Auswertung aller Bedingungen bestätigt diese Differenz (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### 3.2.8 Handgelenkshöhe

Als Handgelenkshöhe wird der höchste Punkt des Handgelenkes während der Bewegung über der Nulllinie ermittelt. Dieser Wert bezeichnet die Höhe des von der greifenden Hand beschriebenen „Bewegungsbogens“. Die Nulllinie entspricht einer durch den Handgelenksmarker gezogenen horizontalen Linie während der Ruheposition der Hand.

### Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

Weder im Hellen noch im Dunkeln können signifikante Unterschiede zwischen der rechten und der linken Hand bei der Höhe des Handgelenks festgestellt werden. Dies gilt für alle drei Bedingungen. Wenn man die bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten erreichten Höhen des Handgelenkes vergleicht, so ergibt sich ein sehr signifikanter Unterschied zwischen „normal“ und „schnell“ ( $p = 0.001$ ) und zwischen „langsam“ und „schnell“ ( $p = 0.028$ ) im Hellen bei der rechten Hand. Auch die linke Hand zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen „normal“ und „schnell“ ( $p = 0.021$ ) im Hellen. Je langsamer die vorgegebene Geschwindigkeit ist, desto höher wird das Handgelenk angehoben (Tabelle 8). Es ergeben sich somit flachere Bögen der Bewegungsspuren bei schnellem Bewegungsablauf. Dagegen gibt es im Dunkeln keine signifikanten Differenzen, obwohl die Mittelwerte eine ähnliche Tendenz zeigen wie im Hellen.

**Tabelle 8: Maximale Höhe der Hand** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite ( $n = 20$ ).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert $\pm$ SD	58 $\pm$ 14 mm	58 $\pm$ 17 mm	56 $\pm$ 14 mm	57 $\pm$ 11 mm
	(Spannweite)	33 - 92 mm	32 - 88 mm	32 - 81 mm	34 - 79 mm
„normal“	Mittelwert $\pm$ SD	66 $\pm$ 22 mm	60 $\pm$ 17 mm	67 $\pm$ 16 mm	62 $\pm$ 15 mm
	(Spannweite)	33 - 118 mm	34 - 91 mm	38 - 94 mm	35 - 81 mm
„langsam“	Mittelwert $\pm$ SD	68 $\pm$ 28 mm	60 $\pm$ 24 mm	68 $\pm$ 23 mm	64 $\pm$ 21 mm
	(Spannweite)	38 - 138 mm	24 - 102 mm	36 - 123 mm	34 - 111 mm

### Effekte des Lichts

Bei drei von sechs Vergleichen gibt es einen leichten Effekt der Lichtverhältnisse auf die Handgelenkshöhe der Probanden während der Greifbewegung (Abb. 31). Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand gibt es statistisch signifikante ( $p = 0.012$  bzw.  $p = 0.025$ ) Unterschiede. Im Allgemeinen kann man sagen, dass die Griffkurve im Dunkeln flacher, d.h.

dass die Handgelenkshöhe im Dunkeln niedriger ist als im Hellen. Dies könnte man damit erklären, dass im Dunkeln keine visuelle Kontrolle möglich ist und man somit versucht, sich dem Ziel schnell und direkt zu nähern, anstatt durch einen hohen Bogen der Bewegungsspur einen Umweg zurückzulegen.

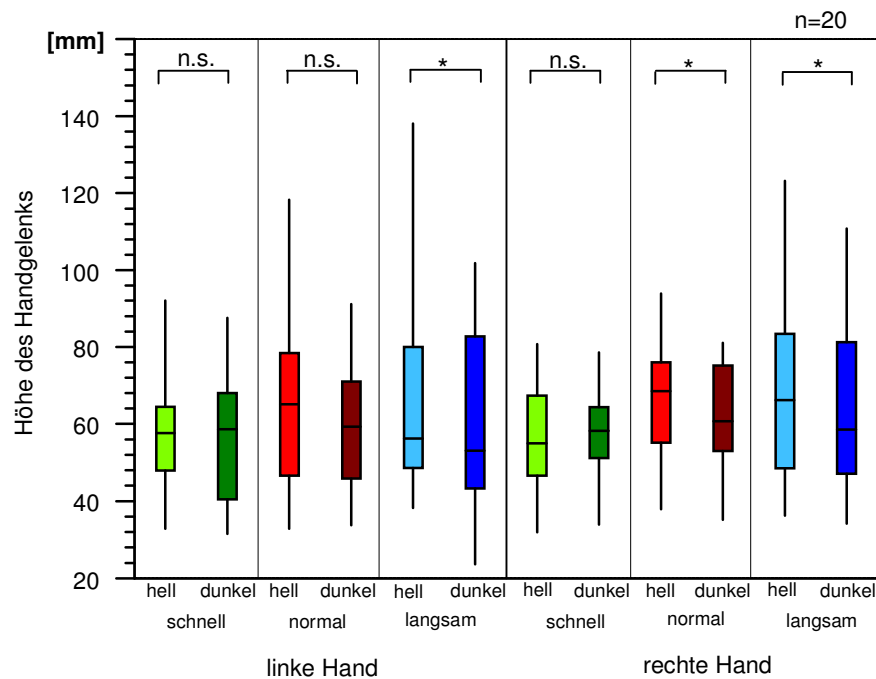


Abb. 31: **Höhe der Hand.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Bei der Bedingung „schnell“ mit der rechten Hand im Dunkeln zeigt sich ein signifikanter Unterschied ( $p = 0.013$ ), wobei die Frauen einen flacheren Bewegungsbogen als die Männer aufweisen. Auch die Gesamtauswertung aller Bedingungen ergibt, dass die Frauen eine flachere Greifkurve aufzeigen, d.h., dass sie eine niedrigere Handgelenkshöhe haben (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### 3.2.9 Maximale Fingeröffnung

Die maximale Fingeröffnung ist der größte gemessene Abstand zwischen den Markierungspunkten an Daumen und Zeigefinger. Er wird typischerweise während der Abbremsphase der Hinbewegung erreicht, bevor das Objekt erfasst wird (siehe hierzu auch Abb. 16-24).

#### Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

Zwischen den maximalen Fingeröffnungen der beiden Hände lässt sich nur im Dunkeln beim schnellen Greifen mit der rechten Hand bei einer Signifikanz von  $p = 0.05$  feststellen, dass die rechte Hand weiter öffnet. Zwischen den beiden Händen gibt es ansonsten weder im Dunkeln noch im Hellen statistisch signifikante Unterschiede der maximalen Fingeröffnung. Bei Betrachtung der Mittelwerte (Tabelle 9), wird jedoch erkennbar, dass die rechte (dominante) Hand fast immer eine größere Fingeröffnung aufweist als die linke. Dieser Unterschied könnte durch die höhere maximale Geschwindigkeit der rechten Hand (siehe Tabelle 5) bedingt sein. Die durchschnittliche maximale Fingeröffnung nimmt zusammen mit der Geschwindigkeit der Gesamtbewegung signifikant ( $p < 0.03$ ) zu. Dieses gilt sowohl für die maximale Fingeröffnung im Hellen als auch im Dunkeln (Abb. 32).

Bedingungen, die eine größere Schwierigkeit der Bewegung beinhalten, wie fehlende visuelle Kontrolle oder bewusst schnelle Durchführung, werden mit kompensatorisch erweiterter Fingeröffnung beim Greifen durchgeführt. Beide Hände zeigen eine Anpassung der Grifföffnung an die Geschwindigkeit und an die Lichtverhältnisse. Die weitere Öffnung der Rechten kommt eventuell auf Grund ihrer höheren Geschwindigkeitsmaxima zustande. Um die Frage zu klären, ob sich Händigkeitseffekte im Sinne einer größeren Bewegungssicherheit der dominanten Rechten zeigen, wurde die Beziehung zwischen Bewegungsgeschwindigkeit und Fingeröffnung durch Korrelationsanalysen näher aufgeschlüsselt (siehe unten, Kapitel Korrelationsanalysen).

**Tabelle 9: Maximale Fingeröffnung** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	71 ± 9 mm	87 ± 9 mm	72 ± 12 mm	91 ± 9 mm
	(Spannweite)	57 - 97 mm	73 - 107 mm	57 - 103 mm	78 -108 mm
„normal“	Mittelwert ± SD	60 ± 7 mm	83 ± 9 mm	59 ± 6 mm	85 ± 10 mm
	(Spannweite)	50 - 76 mm	61 - 102 mm	49 - 71 mm	66 - 105 mm
„langsam“	Mittelwert ± SD	52 ± 6 mm	75 ± 8 mm	53 ± 6 mm	77 ± 10 mm
	(Spannweite)	44 - 64 mm	60 - 95 mm	45 - 75 mm	60 - 106 mm

Effekte des Lichts

Wie man in Abbildung 32 deutlich sehen kann, üben die Lichtverhältnisse einen starken Effekt auf die maximale Fingeröffnung der Probanden aus. Bei allen Bedingungen existiert ein hochsignifikanter Unterschied von  $p = 0.000$  zwischen der Bedingung „hell“ und der Bedingung „dunkel“, sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand.

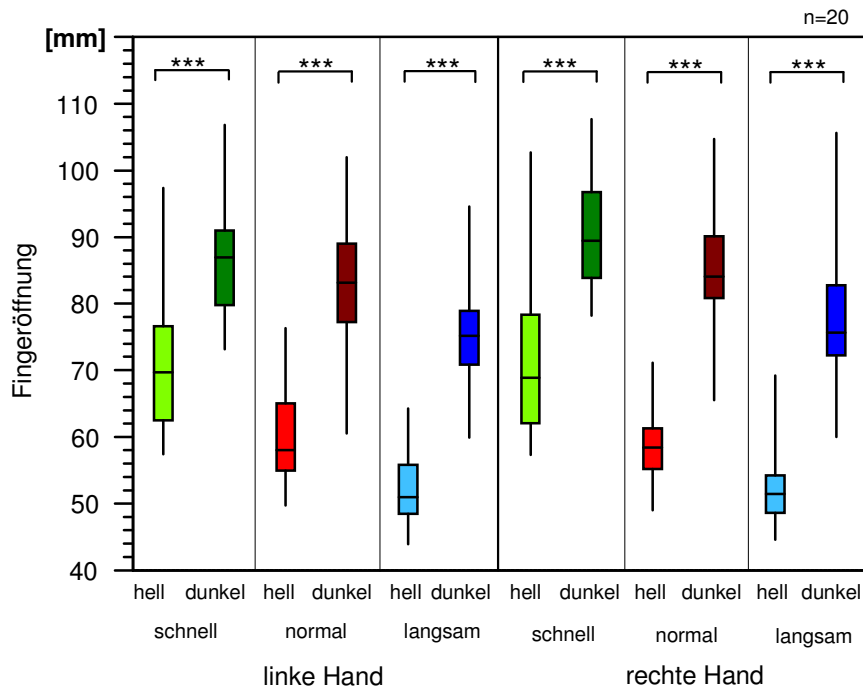


Abb. 32: **Maximale Fingeröffnung.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Zwischen den Werten der maximalen Fingeröffnung der Frauen und denen der Männer kann man nur unter einer Bedingung statistisch signifikante Unterschiede finden. Beim normalen Greifen im Hellen zeigt sich mit einer deutlichen Signifikanz von  $p = 0.008$ , dass die rechte Hand der Frauen eine kleinere Fingeröffnung aufweist. Die zusammengefasste Auswertung aller Bedingungen weist nur eine Tendenz der Frauen zu kleineren Fingeröffnungen beim Greifen auf (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### Korrelationsanalysen

Abbildung 33 stellt dar, wie der maximale Fingerabstand, (die Griffapertur), mit abnehmender Dauer der Bewegung exponentiell ansteigt. Bei schnellem Greifen wird die Hand dementsprechend weiter geöffnet. Dies zeigt sich auch an der Beziehung zwischen der größten Griffapertur und der maximalen Bahngeschwindigkeit der Hand (Abb. 34). In beiden Fällen ergeben sich hochsignifikante ( $p = 0.000$ ) Korrelationen. Geschlechtsunterschiede konnte ich hierbei nicht feststellen.

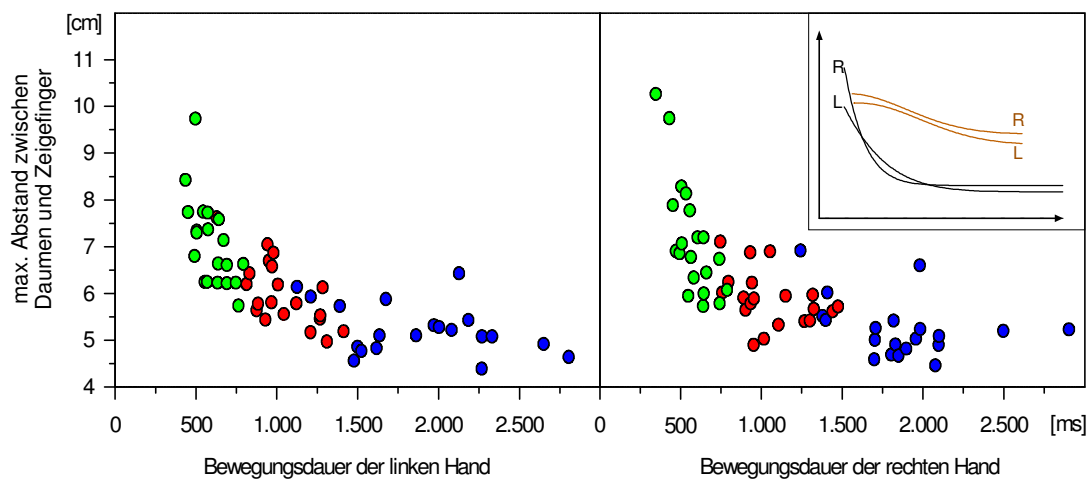


Abb. 33: **Korrelation zwischen der Bewegungsdauer und dem maximalen Fingerabstand.** Originalwerte unter der Bedingung „hell“. Jeder Punkt stellt den Mittelwert aus 10 Bewegungszyklen eines Probanden dar ( $n = 20$ ). Die Farben symbolisieren langsames (blau), normales (rot) und schnelles (grün) Greifen. Regressionskurven der Bedingungen „hell“ (schwarz) und „dunkel“ (braun). „R“ (rechte Hand) und „L“ (linke Hand) im Zusatzbild mit gleichem Maßstab.



Die Originaldaten der Abbildung 33 und 34 stellen die Zusammenhänge für das Greifen im Hellen dar. Zusätzlich wurden an die Daten Regressionskurven (Abb. 33) bzw. Geraden (Abb. 34) nach der Methode der kleinsten Abstandsquadrate angepasst (Programm Xact), die für das Greifen mit Sicht (schwarze Linien) und im Dunkeln (braune Linien) abgebildet sind.

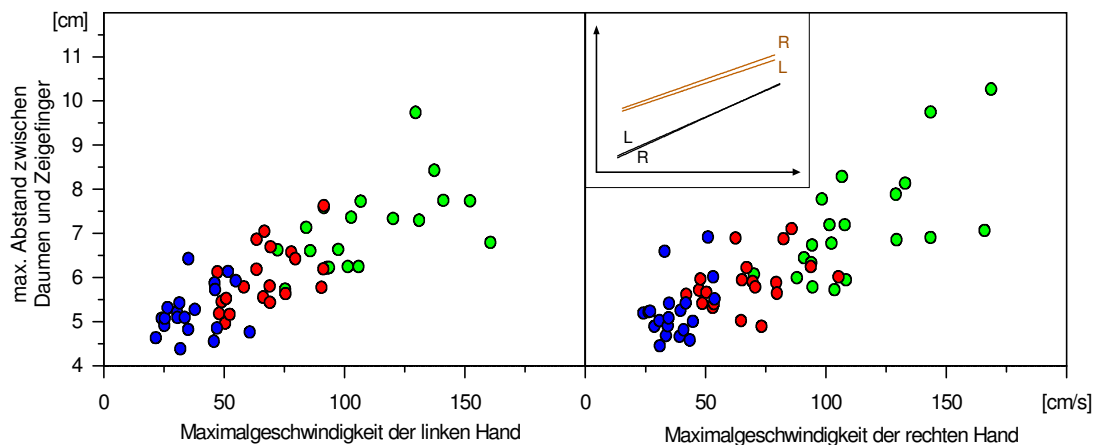


Abb. 34: **Korrelation zwischen der Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks und dem maximalen Fingerabstand.** Originalwerte unter der Bedingung „hell“. Jeder Punkt stellt den Mittelwert aus 10 Bewegungszyklen eines Probanden dar (n = 20). Die Farben symbolisieren langsames (blau), normales (rot) und schnelles (grün) Greifen. Regressionskurven der Bedingungen „hell“ (schwarz) und „dunkel“ (braun). „R“ (rechte Hand) und „L“ (linke Hand) im Zusatzbild mit gleichem Maßstab.

Die für die rechte und linke Hand ermittelten Kurven (Abb. 33) sind einander sowohl im Hellen als auch im Dunkeln sehr ähnlich, und die Regressionsgeraden der Abbildung 34 sind sogar fast deckungsgleich. Weder im Hellen noch im Dunkeln wird die Linke beim Greifen geschwindigkeitsabhängig weiter als die Rechte geöffnet, was man als Strategie zur Kompensation einer weniger geschickten Motorik der Zielbewegung hätte vermuten können. Eher zeigt sich eine Tendenz (Abb. 33, braune Kurven) zu einer größeren Griffapertur der dominanten Hand beim Greifen ohne Sicht; eine „Überlegenheit“ der rechten ist nicht zu erkennen. Erstaunlich ist hier insofern, dass sich kein Händigkeitseffekt im Sinne einer größeren Sicherheit der dominanten Rechten zeigt.

### 3.2.10 Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung relativ zur Bewegungsdauer

Dieser Wert beschreibt die Einstellung der Finger während der Annäherung der Hand an das Objekt in Relation zu der Bewegungsdauer, d.h., es wird eine Angabe gemacht, nach wieviel Prozent der Dauer die Finger maximal geöffnet sind.

#### Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 10: Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung relativ zur Bewegungsdauer** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	76 ± 6 %	61 ± 7 %	77 ± 5 %	61 ± 8 %
	(Spannweite)	61 - 83 %	52 - 76 5	62 - 83 %	50 - 81 %
„normal“	Mittelwert ± SD	77 ± 5 %	60 ± 6 %	76 ± 6 %	59 ± 7 %
	(Spannweite)	69 - 87 %	48 - 75 %	61 - 84 %	47 - 78 %
„langsam“	Mittelwert ± SD	80 ± 5 %	66 ± 6 %	80 ± 6 %	64 ± 8 %
	(Spannweite)	71 - 91 %	58 - 80 %	70 - 89 %	54 - 78 %

Hier kann ich keine signifikanten Unterschiede zwischen den relativen Zeitpunkten der maximalen Fingeröffnung der rechten und der linken Hand ermitteln, weder im Hellen noch im Dunkeln. Mit Abnahme der Geschwindigkeit der Gesamtbewegung verschiebt sich dieser Zeitpunkt signifikant ( $p < 0.015$ ) in Richtung des Endes der Bewegung, so dass die maximale Fingeröffnung später erreicht wird.

#### Effekte des Lichts

Wie man in Abbildung 35 ansehen kann, gibt es einen extrem starken Effekt der Lichtverhältnisse auf den Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung. Bei allen Bedingungen zeigt sich mit hochsignifikantem Unterschied von  $p = 0.000$ , dass die greifenden Finger im Dunkeln früher aufgespreizt werden.

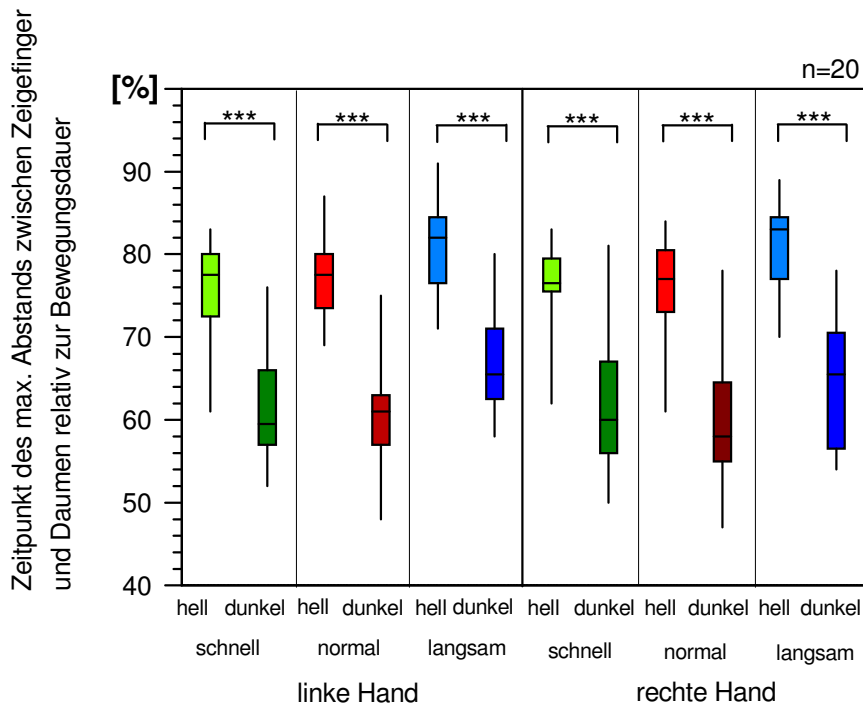


Abb. 35: **Zeitpunkt des maximalen Abstands zwischen Zeigefinger und Daumen relativ zur Bewegungsdauer.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Auch bei den Werten des Zeitpunkts der maximalen Fingeröffnung relativ zur Bewegungsdauer konnte ich keinen statistischen Unterschied zwischen denen der Frauen und denen der Männer finden (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### 3.2.11 Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit

Der Parameter Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit ist ein Maß für die Öffnung der Hand im frühen Bewegungsablauf, noch bevor die halbe Bewegungsdauer verstrichen ist (siehe hierzu auch Abb. 10, Seite 48).

## Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 11: Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	37 ± 8 mm	44 ± 11 mm	41 ± 11 mm	50 ± 11 mm
	(Spannweite)	23 - 54 mm	23 - 71 mm	28 - 79 mm	32 - 67 mm
„normal“	Mittelwert ± SD	31 ± 7 mm	35 ± 8 mm	32 ± 7 mm	40 ± 10 mm
	(Spannweite)	18 - 46 mm	16 - 51 mm	18 - 49 mm	26 - 66 mm
„langsam“	Mittelwert ± SD	28 ± 6 mm	31 ± 9 mm	30 ± 7 mm	33 ± 9 mm
	(Spannweite)	16 - 40 mm	20 - 55 mm	16 - 47 mm	17 - 54 mm

Im Vergleich beider Hände ist bei der Fingeröffnung zum Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit im Hellen nur eine statistische Tendenz zu größeren Werten der Rechten erkennbar (Abb. 36). Im Dunkeln gibt es statistisch signifikante Unterschiede und zwar bei „schnell“ ( $p = 0.023$ ) und bei „normal“ ( $p = 0.04$ ). Nur unter der Bedingung „langsam“ fehlt eine Differenz zwischen den Händen (Abb. 36).

Zusammenfassend kann man sagen, dass es bei der Fingeröffnung zum Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit Tendenzen bzw. Signifikanzen zur größeren Öffnung der rechten Hand im Bereich der „schnellen“ und „normalen“ Bewegungen gibt. Bei Betrachtung der Mittelwerte wird deutlich (Tabelle 11), dass die dominante rechte Hand immer eine größere Fingeröffnung aufweist als die linke, mit Ausnahme von „langsam dunkel“. Dies könnte durch die höhere Geschwindigkeit der rechten Hand bedingt sein, so dass auch hier Korrelationsanalysen erfolgten (siehe Kapitel Korrelationsanalysen, Seite 84). Die durchschnittliche Fingeröffnung zum Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit nimmt mit Zunahme der Geschwindigkeit der Gesamtbewegung signifikant ( $p < 0.03$ ) zu. Dieses gilt für beide Hände und für die Fingeröffnung sowohl im Hellen als auch im Dunkeln.

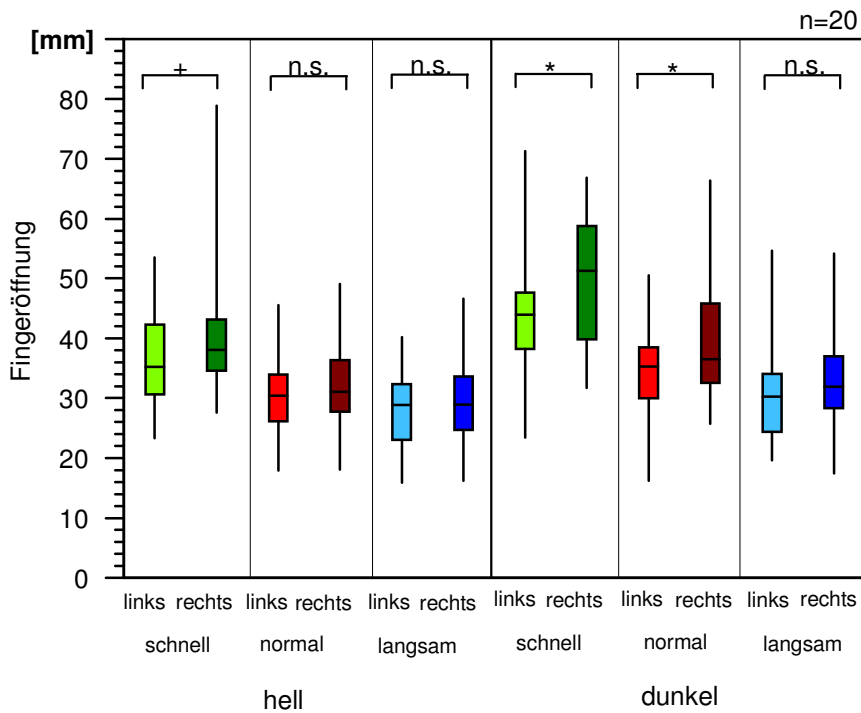


Abb. 36: **Fingeröffnung bei Maximalgeschwindigkeit**, Vergleich zwischen „rechts“ und „links“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Lichts

Wie in Abbildung 37 ersichtlich, gibt es einen starken Effekt der Lichtverhältnisse auf die Fingeröffnung zum Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit der Probanden. Bei fast allen Bedingungen finden sich sehr signifikante Unterschiede von  $p < 0.003$ . Nur bei „langsam“ der linken Hand zeigt sich lediglich eine Tendenz zur weiteren Öffnung im Dunkeln ( $p = 0.073$ ).

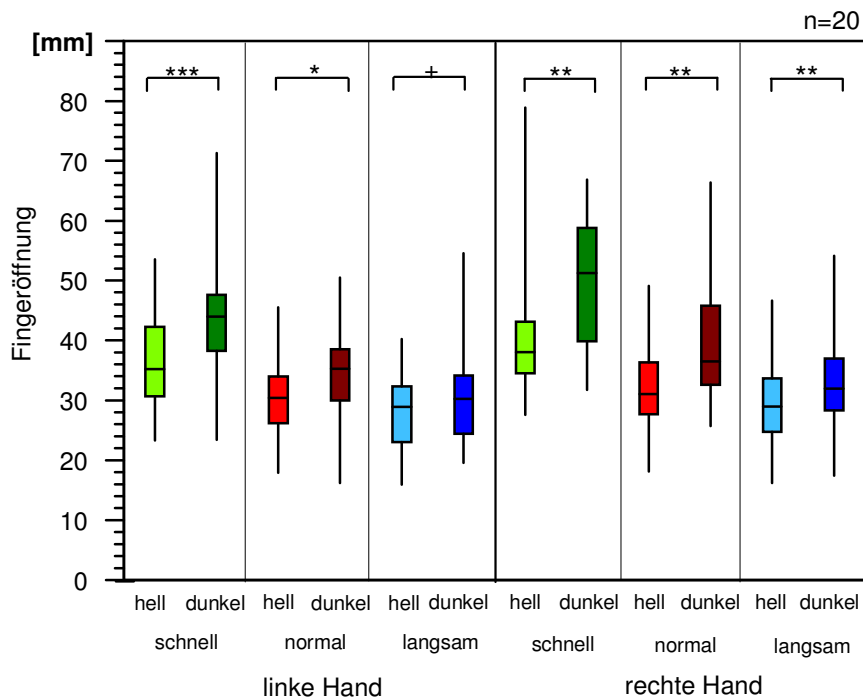


Abb. 37: **Fingerabstand bei Maximalgeschwindigkeit.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Nach dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben konnte ich keinen statistischen Unterschied zwischen den Werten der Fingeröffnung zum Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit der Frauen und der Männer finden (siehe Tabelle 19, Seite 109).

### Korrelationsanalysen

In Abbildung 38 ist die Beziehung zwischen der Bewegungsdauer und dem Fingerabstand bei Maximalgeschwindigkeit dargestellt. Dabei zeigt sich, dass diese Werte hochsignifikant ( $p = 0.000$ ) korrelieren. Abbildung 39 stellt die entsprechende signifikante ( $p = 0.000$ ) Korrelation der Fingeröffnung mit den Werten der Maximalgeschwindigkeit der greifenden Hand dar. Sowohl bei einer kurzen Bewegungsdauer als auch bei steigender Geschwindigkeit wird der Fingerabstand bei Maximalgeschwindigkeit deutlich größer. Auch hier

gibt es keine Geschlechtsunterschiede. Diese Phänomene existieren sowohl bei der linken als auch bei der rechten Hand.

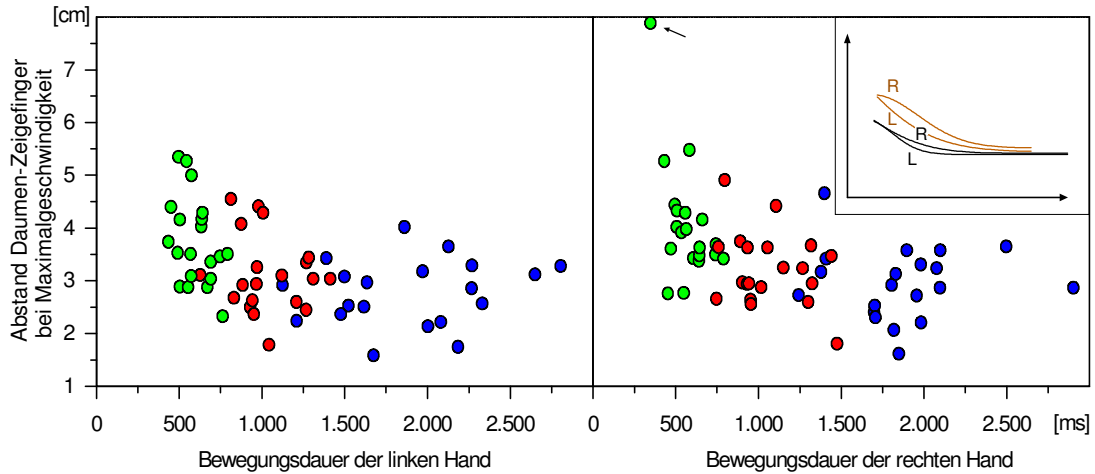


Abb. 38: **Korrelation zwischen der Bewegungsdauer und dem Fingerabstand bei Maximalgeschwindigkeit.** Originalwerte unter der Bedingung „hell“. Jeder Punkt stellt den Mittelwert aus 10 Bewegungszyklen eines Probanden dar (n = 20). Die Farben symbolisieren langsames (blau), normales (rot) und schnelles (grün) Greifen. Regressionskurven der Bedingungen „hell“ (schwarz) und „dunkel“ (braun). „R“ (rechte Hand) und „L“ (linke Hand) im Zusatzbild mit gleichem Maßstab. Extremwert (Pfeil) wurde bei der Regressionsrechnung weggelassen.

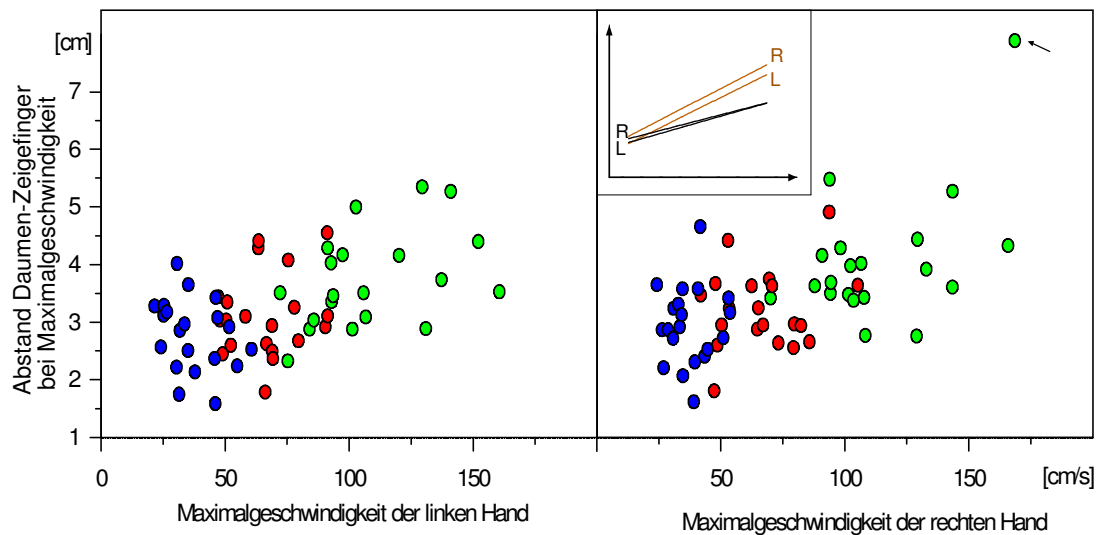


Abb. 39: **Korrelation zwischen der Maximalgeschwindigkeit des Handgelenks und dem Fingerabstand bei Maximalgeschwindigkeit.** Originalwerte unter der Bedingung „hell“. Jeder Punkt stellt den Mittelwert aus 10 Bewegungszyklen eines Probanden dar (n = 20). Die Farben symbolisieren langsames (blau), normales (rot) und schnelles (grün) Greifen. Regressionskurven der Bedingungen „hell“ (schwarz) und „dunkel“ (braun). „R“ (rechte Hand) und „L“ (linke Hand) im Zusatzbild mit gleichem Maßstab. Extremwert (Pfeil) wurde bei der Regressionsrechnung weggelassen.

Die in Abbildung 38 und 39 eingefügten Regressionskurven bzw. –geraden bestätigen, dass sowohl unter Sicht (schwarze Linien) als auch im Dunkeln (braune Linien) die frühe Einstellung der Griffapertur beider Hände sehr ähnlich gesteuert wird. Wie schon bei der maximalen Fingeröffnung (Abb. 33; 34; Seiten 78, 79) zeigt sich auch hier, dass sich die Rechte tendenziell sogar weiter öffnet als die Linke. Eine kleinere Grifföffnung der dominanten Hand im Sinne eines geringeren „Sicherheitsabstandes“ kann ich nicht feststellen.



### 3.3 Kinematische Analyse der Rückbewegung

Im folgenden beschreibe ich die Rückbewegung, d.h. die Bewegung vom Greifen des Objekts bis zum Einsetzen in das Ziel (siehe dazu auch Abb. 8, Seite 42). Diese wird unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet und statistisch analysiert.

#### 3.3.1 Rückzugszeit

Die Rückzugszeit ist die Zeit, die vom Ergreifen und Anheben des Objektes mit gleichzeitigen Erlöschen der LED (Kontakt unterbrochen) bis zum Aufsetzen des Objektes ans Ziel, noch vor dem eigentlichen Einsetzen in den Halter, vergeht (siehe dazu auch Abb. 8, D-H, Seite 42).

#### Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 12: Rückzugszeit** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	522 ± 79 ms	506 ± 72 ms	497 ± 80 ms	510 ± 70 ms
	(Spannweite)	382 – 662 ms	396 - 636 ms	324 - 670 ms.	376 - 644 ms
„normal“	Mittelwert ± SD	679 ± 120 ms	683 ± 131 ms	692 ± 114 ms	677 ± 129 ms
	(Spannweite)	491 - 1000 ms.	492 - 920 ms	529 - 949 ms	489 - 904 ms
„langsam“	Mittelwert ± SD	1078 ± 289 ms	962 ± 217 ms	1041 ± 249 ms	962 ± 218 ms
	(Spannweite)	674 - 1806 ms	606 - 1356 ms	648 - 1476 ms	578 - 1293 ms

Nach dem Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben kann man sagen, dass es bei der Rückzugszeit keine Differenzen zwischen der rechten und der linken Hand gibt. Die durchschnittliche Rückzugszeit nimmt mit zunehmender Verlängerung der Gesamtbewegung hochsignifikant ( $p = 0.000$ ) und kontinuierlich zu (Tabelle 12). Dies gilt sowohl im Hellen als auch im Dunkeln.

### Effekte des Lichts

Bei Vergleich der Werte der Hände im Hellen mit denen im Dunkeln vergleicht (Abb. 40, Tabelle 12), ist erkennbar, dass die Rückzugszeiten im Dunkeln fast immer kürzer sind als die im Hellen, obwohl es nur in einem Fall eine statistische Tendenz gibt ( $p = 0.052$ ). Insgesamt wird die Rückzugszeit somit vor allem durch die vorgegebene Geschwindigkeit beeinflusst, hingegen kaum durch die Lichtverhältnisse oder die benutzte Hand.

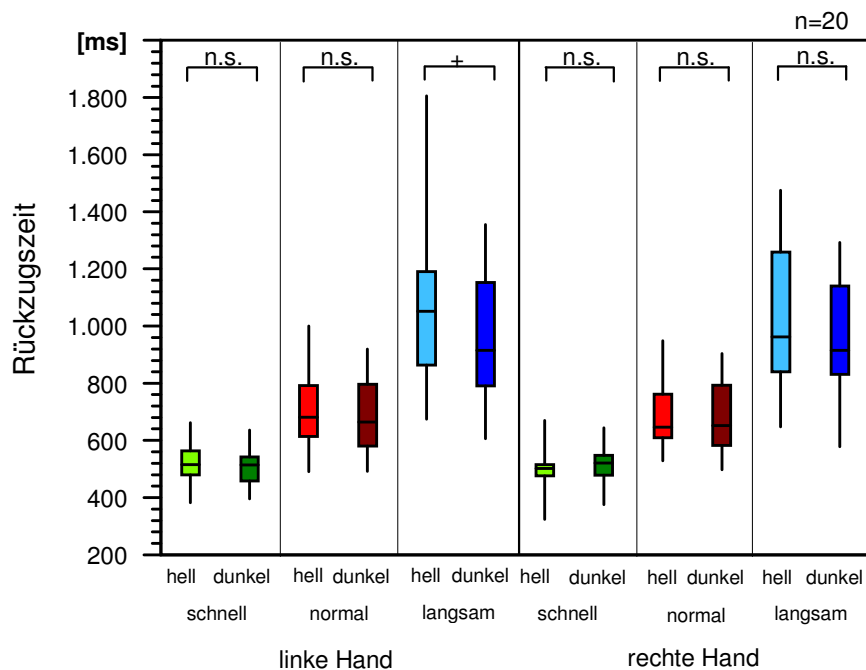


Abb. 40: **Rückzugszeit.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Mit dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben konnte ich keine statistischen Unterschiede zwischen den Rückzugszeiten der Männer und denen der Frauen feststellen, weder für die Einzelbedingungen noch für die Gesamtauswertung. Allenfalls zeigt sich, dass die Frauen eine Tendenz zu schnelleren Rückzugszeiten haben (siehe Tabelle 21, Seite 111).

### 3.3.2 Einfügzeit

Die Einfügzeit ist die Zeit, die vom Aufsetzen des Objektes am Ziel (Ende Rückzugszeit) bis zum vollständigen Einfügen des Objektes ins Ziel (LED geht an) vergeht.

Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 13: Einfügzeiten** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	320 ± 115 ms	1080 ± 480 ms	275 ± 94 ms	1107 ± 484 ms
	(Spannweite)	116 – 528 ms	446 - 2258 ms	102 - 434 ms.	390 - 2151 ms
„normal“	Mittelwert ± SD	457 ± 149 ms	1333 ± 432 ms	415 ± 87 ms	1345 ± 436 ms
	(Spannweite)	144 - 790 ms.	662 - 2144 ms	280 - 600 ms	750 - 2396 ms
„langsam“	Mittelwert ± SD	670 ± 238 ms	1342 ± 295 ms	584 ± 144 ms	1360 ± 305 ms
	(Spannweite)	318 - 1296 ms	562 - 1951 ms	298 - 912 ms	900 - 1936 ms

Mit dem Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben kann ich feststellen, dass sich bei der Einfügzeit, mit Ausnahme der Bedingung „langsam“ im Hellen, keine bedeutsamen Differenzen zwischen der rechten und der linken Hand ergeben. Allein bei dieser Bedingung zeigt sich (Abb. 41) eine sehr signifikante Differenz von  $p = 0.005$  zwischen der rechten und der linken Hand. Eine ähnliche, wenn auch nicht signifikante, Tendenz zu kürzeren Zeiten der dominanten Rechten gibt es auch bei der Bedingung „normal“ im Hellen. Die durchschnittliche Einfügzeit nimmt mit zunehmender Verlängerung der Gesamtbewegung hochsignifikant ( $p = 0.000$ ) und kontinuierlich zu (Tabelle 13). Dies gilt sowohl im Hellen als auch im Dunkeln. Nur der Vergleich der Zeiten zwischen „normal“ und „langsam“ erreichte keine statistische Signifikanz.

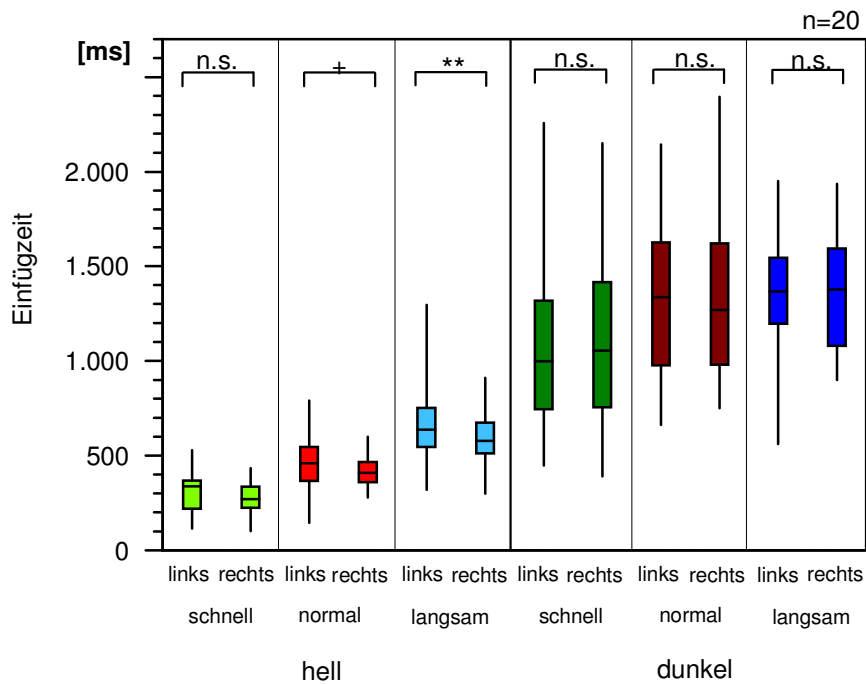


Abb. 41: **Einfügzeit.** Vergleich zwischen „links“ und „rechts“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Lichts

Wie in Abbildung 42 zu erkennen, gibt es einen sehr starken Effekt der Lichtverhältnisse auf die Einfügzeit der Probanden, mit statistisch hochsignifikanten ( $p = 0.000$ ) Unterschieden, sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand. Im Dunkeln ist demnach bei beiden Händen die Einfügzeit länger.

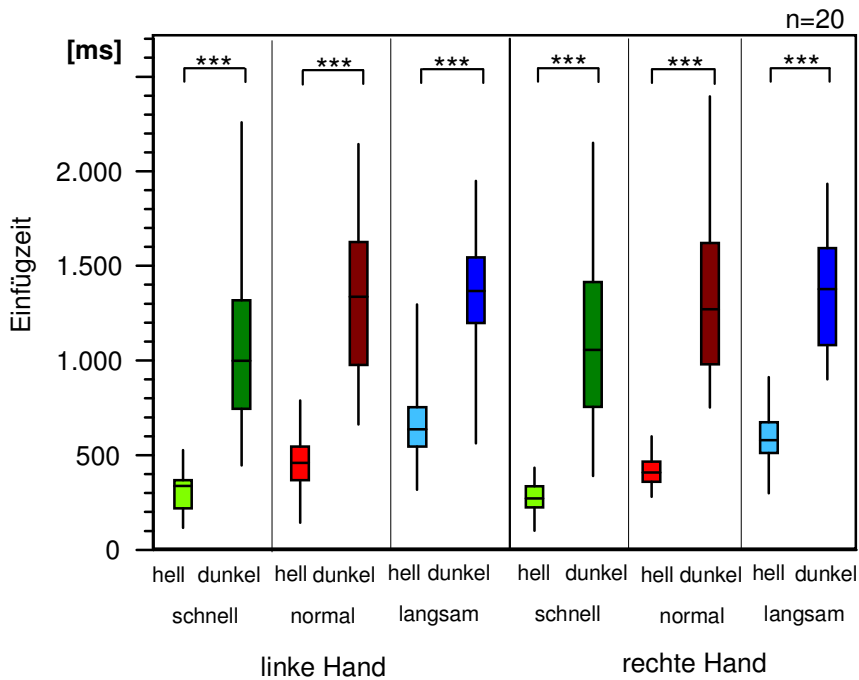


Abb. 42: **Einfügzeit.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Nach dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben konnte ich bei drei Bedingungen statistische Unterschiede zwischen der Einfügzeit der Männer und der der Frauen feststellen, und zwar bei der rechten Hand im Dunkeln unter den Bedingungen „schnell“ und „normal“ und bei der linken Hand im Dunkeln unter der Bedingung „schnell“. Hier, wie auch bei den übrigen Bedingungen und bei der zusammenfassenden Auswertung (siehe Tabelle 21, Seite 111) wird erkennbar, dass die Männer eine Tendenz zur kürzeren Einfügzeit haben.

### 3.3.3 Bewegungsdauer

Die Bewegungsdauer der Rückbewegung setzt sich zusammen aus Rückzugszeit und Einfügzeit.

## Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 14: Bewegungsdauer der Rückbewegung** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	842 ± 160 ms	1586 ± 524 ms	772 ± 123 ms	1618 ± 526 ms
	(Spannweite)	582 - 1190 ms	846 - 2894 ms	584 - 1071 ms	880 - 2796 ms
„normal“	Mittelwert ± SD	1154 ± 208 ms	2016 ± 524 ms	1107 ± 148 ms	2022 ± 451 ms
	(Spannweite)	636 - 1584 ms	1154 - 2902 ms	914 - 1458 ms	1364 - 2942 ms
„langsam“	Mittelwert ± SD	1748 ± 419 ms	2304 ± 372 ms	1626 ± 320 ms	2322 ± 380 ms
	(Spannweite)	1060 - 2424 ms	1346 - 2926 ms	1108 - 2184 ms	1487 - 3040 ms

Der Wilcoxon-Test zeigt, dass es bei der Bewegungsdauer im Hellen signifikante Differenzen zwischen der rechten und der linken Hand mit  $p < 0.032$  gibt (Abb. 43). Auch bei der Inspektion der Mittelwerte stellt man fest, dass die linke Hand im Hellen immer eine längere Bewegungsdauer aufweist als die rechte, während im Dunkeln es sich genau umgekehrt verhält. Die durchschnittliche Bewegungsdauer nimmt bei einer längeren Gesamtbewegung (Anweisung: „schnell“ - „normal“ - „langsam“) signifikant ( $p = 0.000$ ) und kontinuierlich zu (Tabelle 14). Dies gilt sowohl für die Bewegungszeiten im Hellen als auch im Dunkeln.

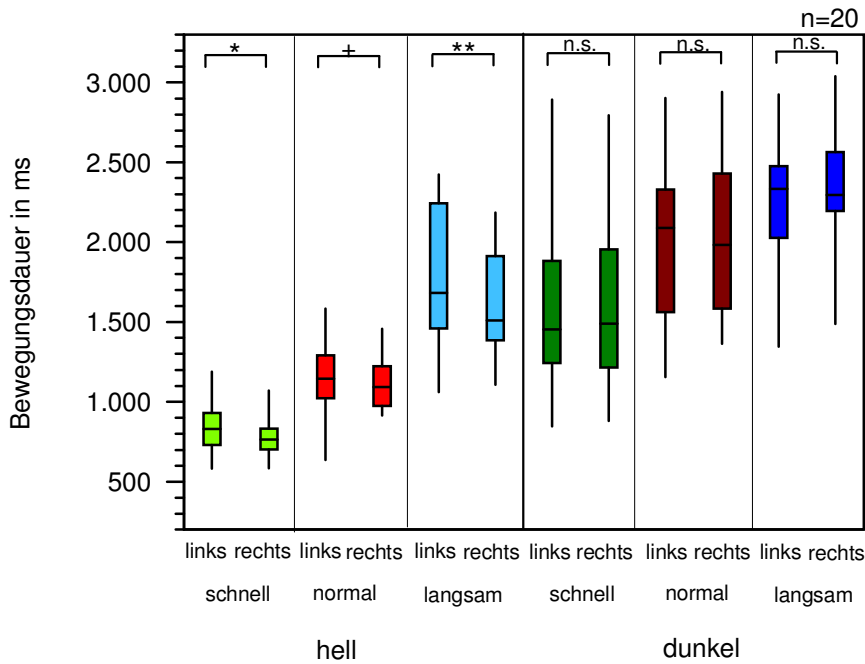


Abb. 43: **Bewegungsdauer der Rückbewegung.** Vergleich zwischen „links“ und „rechts“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

Effekte des Lichts

Wie in Abbildung 44 erkennbar, ergibt sich einen deutlicher Effekt der Lichtverhältnisse auf die Bewegungsdauer der Probanden. Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand gibt es statistisch hochsignifikante ( $p = 0.000$ ) bzw. sehr signifikante ( $p = 0.007$ , bei der Bedingung rechts normal) Unterschiede. Im Dunkeln ist demnach bei beiden Händen die Bewegungsdauer länger. Nur bei der Bedingung „langsam“ konnte ich keinen signifikanten Unterschied ermitteln. Zusammenfassend zeigt sich bei der Bewegungsdauer als Summe der Komponenten Rückzugs- und Einfügzeit eine leichte Unterlegenheit der non-dominanten Hand beim Greifen unter Sicht, während sich unter erschwerten Bedingungen, ohne visuelle Kontrolle, die intermanuellen Differenzen verwischen.

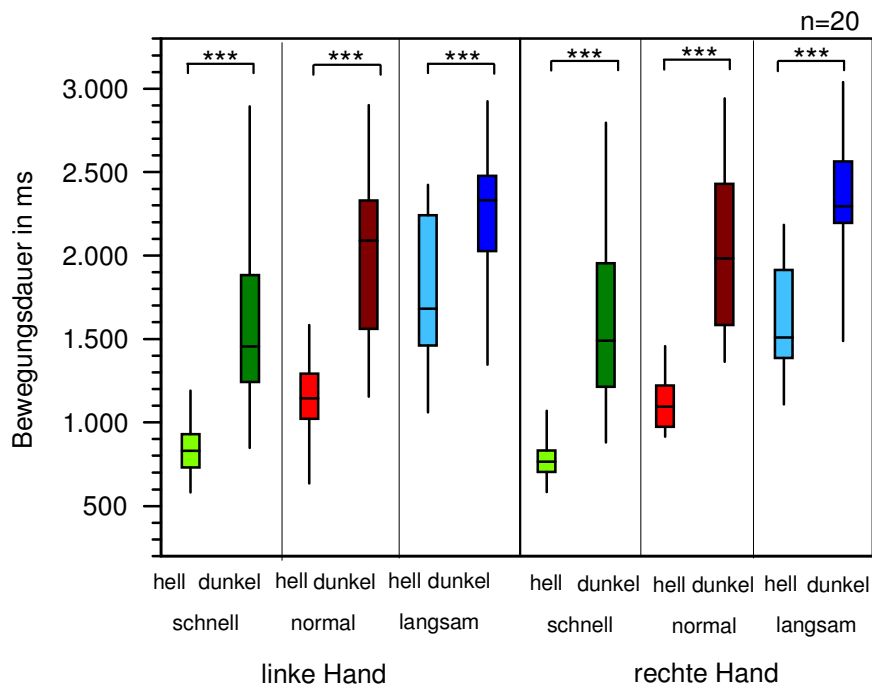


Abb. 44: **Bewegungsdauer der Rückbewegung.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

#### Effekte des Geschlechts

Nach dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben resultieren keine statistischen Unterschiede zwischen der Bewegungsdauer der Männer und der der Frauen, auch nicht in der Gesamtauswertung (siehe Tabelle 21, Seite 111).

#### 3.3.4 Maximalgeschwindigkeit

Als Maximalgeschwindigkeit wurde die höchste Geschwindigkeit ermittelt, welche die Hand beim Transport des Objektes zum Ziel erreicht.



Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 15: Maximalgeschwindigkeit** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	69 ± 15 cm/s	72 ± 15 cm/s	72 ± 17 cm/s	75 ± 17 cm/s
	(Spannweite)	47 - 99 cm/	47 - 107 cm/s	47 - 129 cm/s	58 - 125 cm/s
„normal“	Mittelwert ± SD	48 ± 10 cm/s	53 ± 11 cm/s	48 ± 9 cm/s	53 ± 12 cm/s
	(Spannweite)	32 - 75 cm/s	37 - 73 cm/s	33 - 62 cm/s	36 - 84 cm/s
„langsam“	Mittelwert ± SD	30 ± 9 cm/s	37 ± 9 cm/s	32 ± 8 cm/s	37 ± 10 cm/s
	(Spannweite)	18 - 48 cm/s	19 - 49 cm/s	19 - 46 cm/s	22 - 62 cm/s

Zwischen der rechten und der linken Hand kann ich bei der Maximalgeschwindigkeit keinen signifikanten Unterschied feststellen, weder unter der Bedingung „hell“ noch unter der Bedingung „dunkel“. Die Mittelwerte lassen erkennen (Tabelle 15), dass die rechte Hand unter der Bedingung „schnell“ minimal schneller ist als die linke Hand. Dies gilt sowohl im Hellen, als auch im Dunkeln. Die durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit der Rückbewegung nimmt mit zunehmender Dauer der Gesamtbewegung hochsignifikant ( $p = 0.000$ ) ab. Dies gilt sowohl für die Geschwindigkeiten im Hellen als auch im Dunkeln. Somit kann ich überprüfen, dass meine Probanden auch bei der Rückbewegung die Anweisungen noch richtig ausgeführt haben.

Effekte des Lichts

Wie man in Abbildung 45 erkennen kann, gibt es bei 2/3 der Vergleiche einen Effekt der Lichtverhältnisse auf die Maximalgeschwindigkeit der Rückführung des Objekts durch die Probanden. Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand existieren statistisch signifikante Unterschiede, wobei die Maximalgeschwindigkeit in Dunkeln immer höher ist als im Hellen. Nur bei der Bedingung „schnell“ ist weder bei der rechten noch bei der linken Hand einen statistischen Unterschied auszumachen.

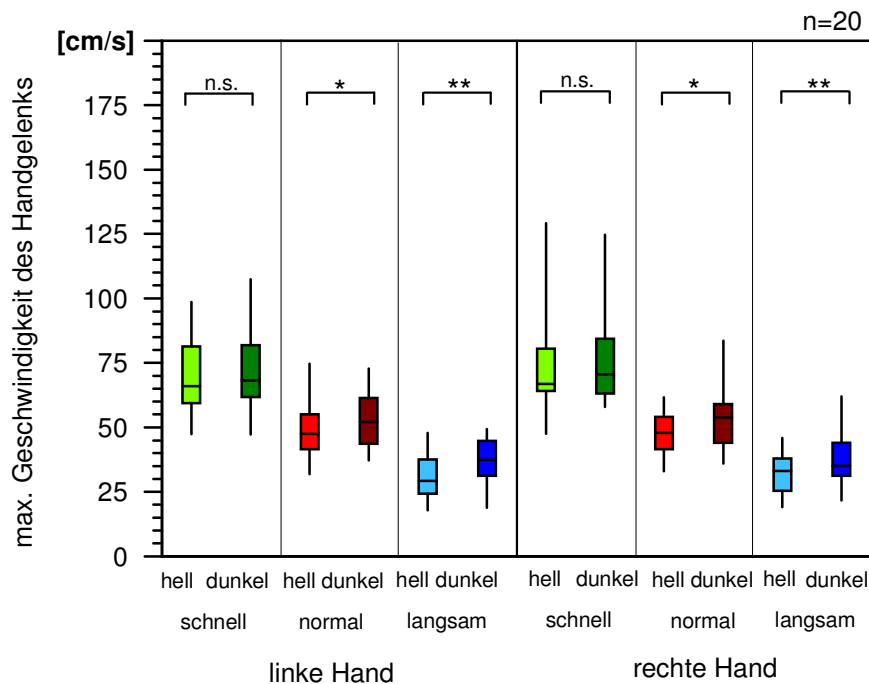


Abb. 45: **Maximalgeschwindigkeit der Hand bei der Rückbewegung.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Nach dem U-Test für unabhängige Stichproben kann ich kaum statistische Unterschiede zwischen den Maximalgeschwindigkeiten der Rückbewegung der Männer und Frauen feststellen. Nur in zwei von zwölf Bedingungen zeigen sich statistische Tendenzen, dass Männer eine höhere Maximalgeschwindigkeit bei der Rückbewegung haben, und zwar bei der Bedingung „schnell“ mit der rechten Hand im Hellen und mit der linken Hand im Dunkeln. Auch über sämtliche Bedingungen zeigt sich eine entsprechende, wenn auch nicht signifikante, Differenz der Mittelwerte (siehe Tabelle 21, Seite 111).

### 3.3.5 Mittlere Geschwindigkeit

Als mittlere Geschwindigkeit wurde die durchschnittliche Geschwindigkeit der Hand während der Rückzugszeit ermittelt.

Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 16: Mittlere Geschwindigkeit** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	41 ± 8 cm/s	43 ± 8 cm/s	42 ± 8 cm/s	44 ± 8 cm/s
	(Spannweite)	30 - 60 cm/s	32 - 60 cm/s	29 - 69 cm/s	35 - 62 cm/s
„normal“	Mittelwert ± SD	30 ± 6 cm/s	33 ± 6 cm/s	31 ± 5 cm/s	34 ± 7 cm/s
	(Spannweite)	22 - 45 cm/s	25 - 45 cm/s	23 - 38 cm/s	24 - 52 cm/s
„langsam“	Mittelwert ± SD	20 ± 5 cm/s	24 ± 5 cm/s	21 ± 5 cm/s	24 ± 6 cm/s
	(Spannweite)	13 - 29 cm/s	12 - 30 cm/s	13 - 30 cm/s	16 - 36 cm/s

Zwischen der rechten und der linken Hand sind weder im Hellen noch im Dunkeln signifikante Unterschiede erkennbar. Auch an Hand der Mittelwerte lassen sich keine Differenzen identifizieren (Tabelle 16). Mit zunehmender Dauer der Gesamtbewegung nimmt die durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit hochsignifikant ( $p = 0.000$ ) ab. Dies gilt sowohl für die Geschwindigkeiten im Hellen als auch im Dunkeln.

Effekte des Lichts

Wie man in Abbildung 46 erkennen kann, gibt es, ähnlich wie bei der Maximalgeschwindigkeit (Abb. 45), einen deutlichen Effekt der Lichtverhältnisse auf die mittlere Geschwindigkeit der rückführenden Greifbewegung der Probanden. Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand zeigen sich statistisch signifikante Unterschiede, wobei die Geschwindigkeit im Dunkeln immer höher ist als im Hellen. Nur bei der Bedingung „schnell“ kann ich weder bei der rechten noch bei der linken Hand einen statistischen Unterschied ausmachen.

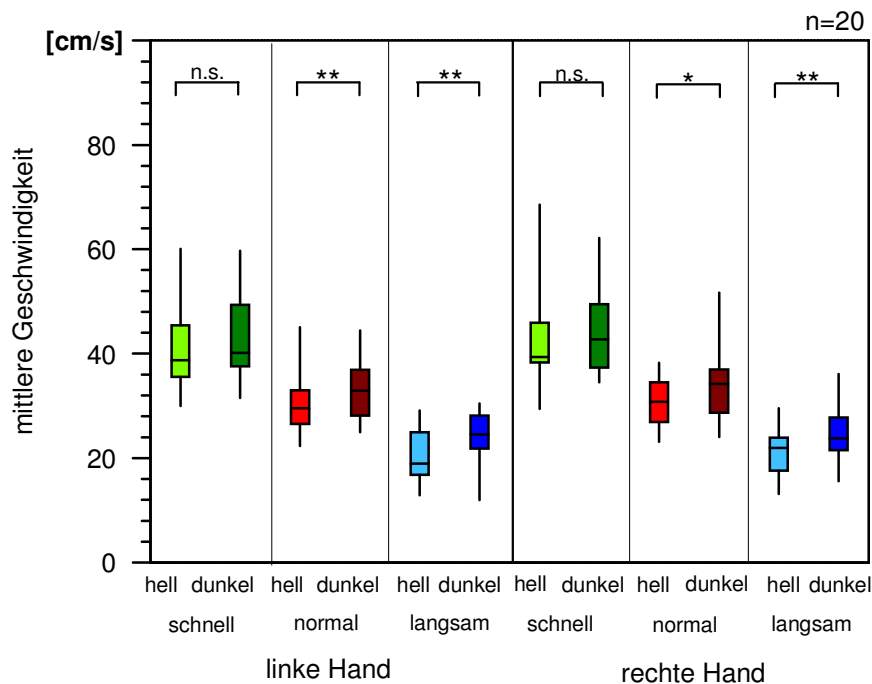


Abb. 46: **Mittlere Geschwindigkeit der Hand bei der Rückbewegung.** Vergleich zwischen „hell und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Nach dem U-Test für unabhängige Stichproben können fast keine statistischen Unterschiede zwischen der mittleren Geschwindigkeit der Rückbewegung bei den Männern und bei den Frauen festgestellt werden. Nur in drei von zwölf Bedingungen zeigen sich statistische Differenzen bzw. Tendenzen, dass Männer eine höhere Geschwindigkeit bei der Rückbewegung haben und zwar bei der Bedingung „schnell“ mit der rechten Hand im Hellen, mit der linken Hand im Dunkeln, und mit der linken Hand im Hellen. Auch über sämtliche Bedingungen ergibt sich ein kleiner, allerdings statistisch nicht bedeutsamer Unterschied (siehe Tabelle 21, Seite 111).

### 3.3.6 Handgelenkshöhe der Rückbewegung

Die Handgelenkshöhe ist der höchste Punkt des Handgelenks während der Rückbewegung, wobei die Nulllinie durch den Handgelenksmarker während der Ruheposition der Hand definiert ist.

Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 17: Handgelenkshöhe** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	28 ± 9 mm	30 ± 10 mm	28 ± 7 mm	29 ± 12 mm
	(Spannweite)	10 - 46 mm	12 - 53 mm	18 - 43 mm	12 - 54 mm
„normal“	Mittelwert ± SD	34 ± 12 mm	35 ± 14 mm	35 ± 12 mm	32 ± 10 mm
	(Spannweite)	17 - 63 mm	7 - 58 mm	21 - 65 mm	19 - 49 mm
„langsam“	Mittelwert ± SD	41 ± 20 mm	37 ± 17 mm	42 ± 23 mm	39 ± 20 mm
	(Spannweite)	12 - 89 mm	5 - 68 mm	11 - 94 mm	19 - 87 mm

Ich kann keinen signifikante Unterschiede zwischen der rechten und der linken Hand bei der Höhe des Handgelenks bei allen drei Bedingungen feststellen, weder im Hellen noch im Dunkeln. Die Mittelwerte der Höhe (Tabelle 17) zeigen, dass mit zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit flachere Bewegungsbögen auf dem Weg zum Ziel beschrieben werden. Entsprechend gibt es signifikante Unterschiede ( $p = 0.04$ ) und Tendenzen zwischen den Geschwindigkeiten. Nur bei der rechten Hand unter der Bedingung „dunkel“ war keine Differenz zwischen den Bedingungen „normal“ und „schnell“ festzustellen, ebenso bei der linken Hand unter derselben Lichtbedingung zwischen den Geschwindigkeiten „langsam“ und „normal“.

Effekte des Lichts

Wie man der Abbildung 47 entnehmen kann, üben die Lichtverhältnisse keinen Effekt der auf die Handgelenkshöhe bei der Rückbewegung der Probanden aus.

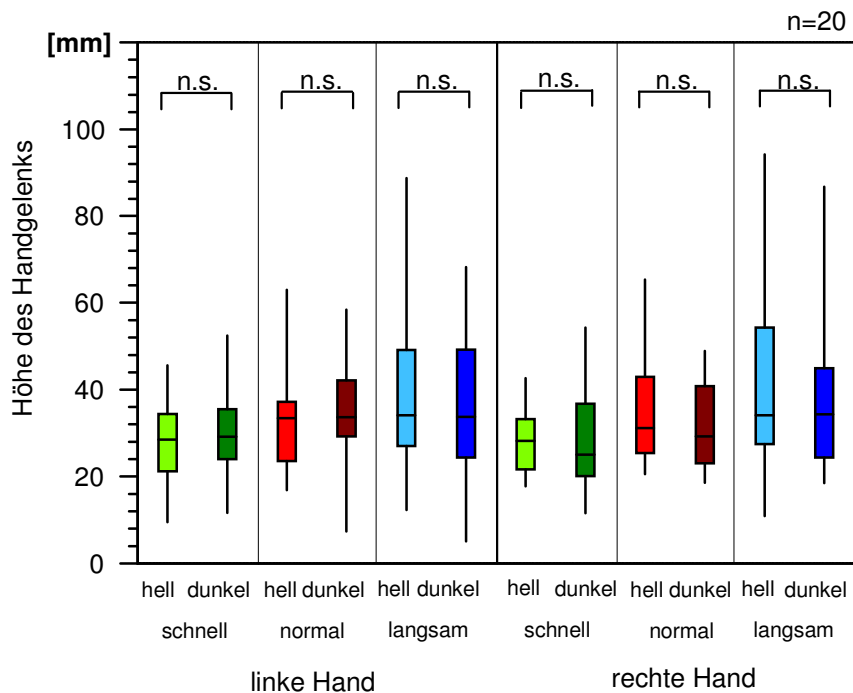


Abb. 47: **Höhe der Hand bei der Rückbewegung.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

### Effekte des Geschlechts

Nach dem U-Test für unabhängige Stichproben resultieren keine statistischen Unterschiede zwischen der Höhe des Handgelenks bei der Rückbewegung bei den Männern und bei den Frauen (siehe Tabelle 21, Seite 111).

### 3.3.7 Suchweg

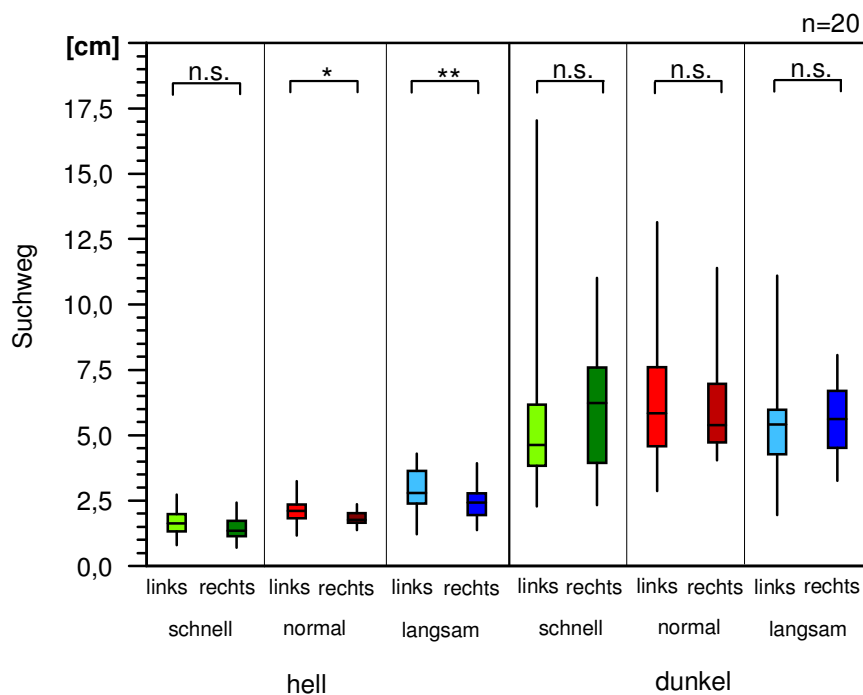
Der Suchweg ist der Weg, der nach dem Aufsetzen des Objekts bei der Suche nach dem Ziel bis zum endgültigen Einsetzen des Objektes zurückgelegt wurde.

Effekte der Geschwindigkeit und Effekte der Hand

**Tabelle 18: Suchweg** der rechten und der linken Hand, im Hellen und im Dunkeln, für alle drei Bedingungen mit Mittelwert, Standardabweichung (SD) und Spannweite (n= 20).

		Linke Hand		Rechte Hand	
		„hell“	„dunkel“	„hell“	„dunkel“
„schnell“	Mittelwert ± SD	17 ± 5 mm	59 ± 37 mm	14 ± 4 mm	59 ± 24 mm
	(Spannweite)	8 - 27 mm	23 - 170 mm	7 - 24 mm	23 - 110 mm
„normal“	Mittelwert ± SD	21 ± 5 mm	61 ± 25 mm	18 ± 3 mm	61 ± 21 mm
	(Spannweite)	12 - 32 mm	29 - 132 mm	14 - 24 mm	4 - 114 mm
„langsam“	Mittelwert ± SD	29 ± 9 mm	54 ± 19 mm	25 ± 6 mm	57 ± 15 mm
	(Spannweite)	12 - 43 mm	20 - 111 mm	14 - 39 mm	33 - 81 mm

Mit dem Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben kann ich nachweisen, dass es bei dem Suchweg in zwei Fällen signifikante Unterschiede zwischen der rechten und der linken Hand gibt (Abb. 48), und zwar im Hellen bei den Bedingungen „normal“ (p = 0.021) und „langsam“ (p = 0.007). Bei Betrachtung der Mittelwerte wird sehr deutlich, dass die rechte Hand bei



**Abb. 48: Suchweg der Rückbewegung.** Vergleich zwischen „links“ und „rechts“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

Bewegungen unter Sicht immer einen kürzeren Suchweg hat. Bei der Bedingung „dunkel“ kann man keine signifikanten Unterscheide erkennen. Der durchschnittliche Suchweg nimmt bei länger andauernder Gesamtbewegung signifikant ( $p = 0.003$ ) und kontinuierlich zu. Dies gilt sowohl für die rechte als auch für die linken Hand, aber nur unter der Bedingung „hell“. Im Dunkeln ist kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Bei allen Bedingungen korreliert der Suchweg mit der Einfügzeit. Insbesondere bei schneller Bewegung verlängert sich dieser Weg mit zunehmender Dauer (Abb. 49).

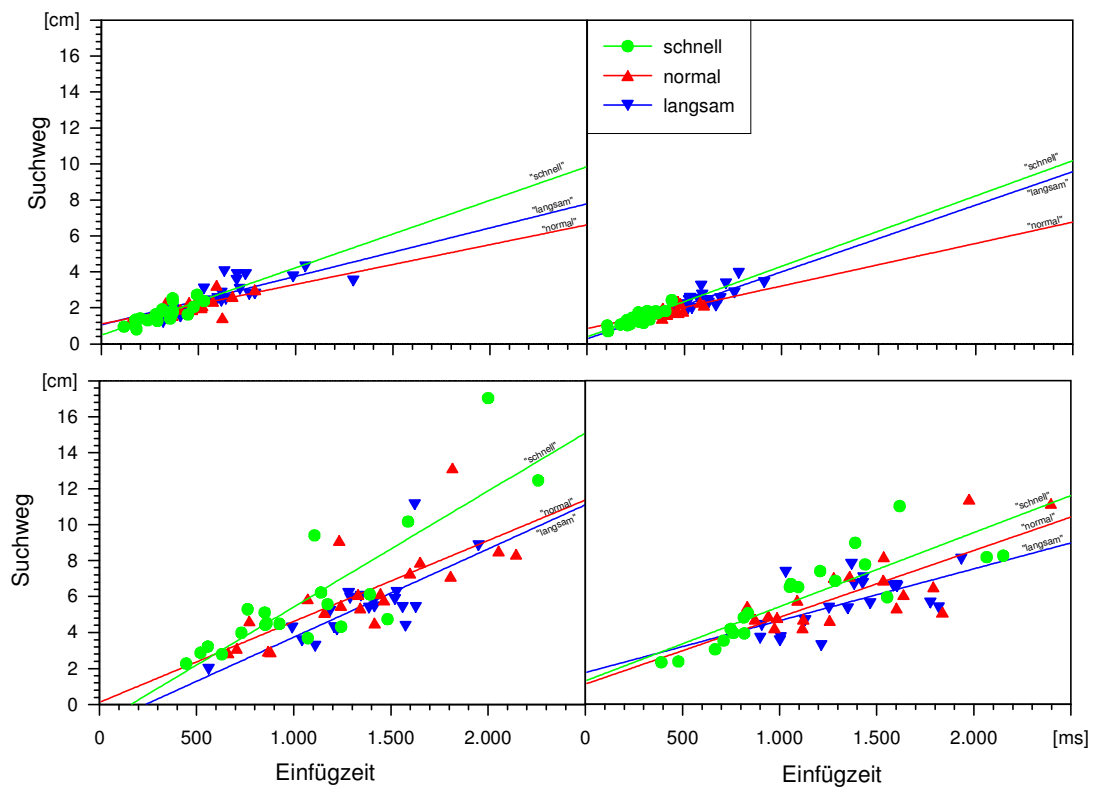


Abb. 49: **Korrelation zwischen dem Suchweg und der Einfügzeit.** Originalwerte unter den Bedingungen im Hellen (oben) und im Dunkeln (unten), von der linken Hand (links) und der rechten Hand (rechts). Jeder Punkt stellt den Mittelwert aus 10 Bewegungszyklen eines Probanden dar. Die Farben symbolisieren langsames (blau), normales (rot) und schnelles (grün) Greifen.



Effekte des Lichts

Wie aus den Abbildungen 49 und 50 ersichtlich, gibt es einen sehr deutlichen Effekt der Lichtverhältnisse auf den Suchweg der Probanden. Sowohl bei der rechten als auch bei der linken Hand ergeben sich statistisch hochsignifikante ( $p = 0.000$ ) Unterschiede. Im Dunkeln ist somit bei beiden Händen der Suchweg deutlich länger.

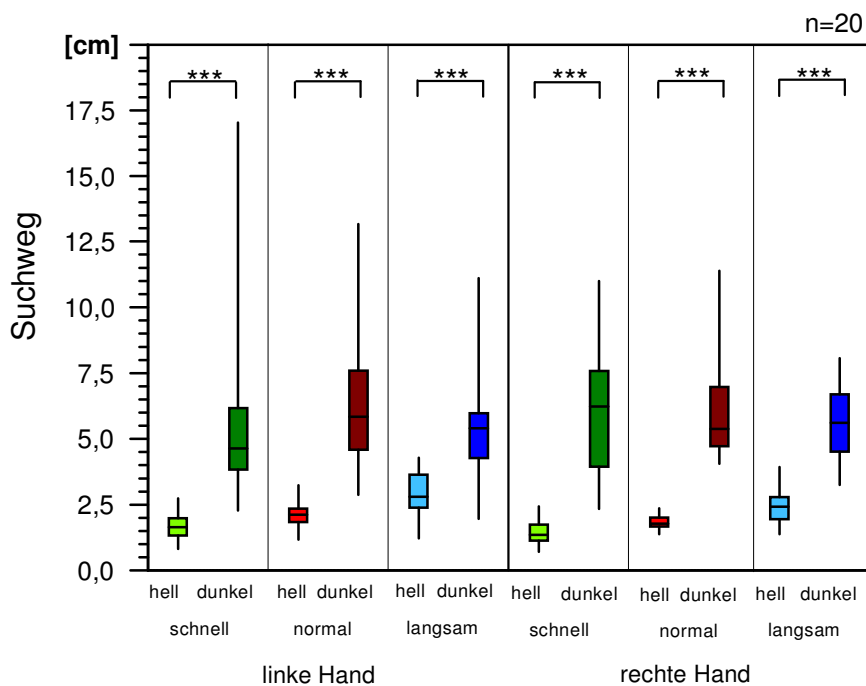


Abb. 50: **Suchweg der Rückbewegung.** Vergleich zwischen „hell“ und „dunkel“ bei allen drei Geschwindigkeiten. (Hinweis: Erklärung der Boxplots und Signifikanzangaben siehe Abbildung 11, Seite 49).

Effekte des Geschlechts

Nach dem U-Test für unabhängige Stichproben sind keine statistischen Unterschiede des Suchweges zwischen den Männern und bei den Frauen festzustellen. Es zeigt sich aber über die verschiedenen einzelnen Bedingungen, dass die Männer tendenziell einen kürzeren Suchweg haben (siehe Tabelle 21, Seite 111).

### 3.4 Zusammenfassung der Wirkung von Geschwindigkeit

Für die Hinbewegung läßt sich hervorheben, dass die einzelnen Parameter mit zunehmender Geschwindigkeit hochsignifikant zu- bzw. abnehmen, d.h., die Geschwindigkeit hat einen großen Einfluss auf das Greifen der Hände. Wie erwartet, sinken Bewegungsdauer und Reaktionszeit bei zunehmender Geschwindigkeit, während die Maximalgeschwindigkeit sowie die mittlere Geschwindigkeit steigen. Die Streuung nimmt erstaunlicherweise mit zunehmender Geschwindigkeit ab. Die Fingeröffnung (sowohl die maximale als auch die bei Maximalgeschwindigkeit) nimmt in etwa linear mit zunehmender Geschwindigkeit zu (Abb. 39), und die Höhe der Bewegungsbögen wird kleiner. In der Zeitstruktur verschiebt sich der prozentuale Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit in Richtung Bewegungsbeginn, d.h., die Zeit der Beschleunigung verlängert sich nicht proportional zur Gesamtbewegungsdauer. Es besteht somit die Bestrebung, die Beschleunigungsphase kurz zu halten. Der prozentuale Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung verschiebt sich zum Bewegungsende bei abnehmender Geschwindigkeit. In Abbildung 51 sind die einzelnen Geschwindigkeiten nochmals aufgeschlüsselt.

Auch bei der Rückbewegung gibt es signifikante Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Geschwindigkeiten. Hier ist die Abweichung aber nicht ganz so stark ausgeprägt. Wie erwartet sinkt auch hier die Bewegungsdauer, bestehend aus Rückzugs- und Einfügezeit, während die Maximalgeschwindigkeit sowie die mittlere Geschwindigkeit steigen. Die Höhe der Bewegungsbögen nimmt, wie bei der Hinbewegung, ab, wenn das Greifen schneller verläuft (Tabelle 17). Der Suchweg verkürzt sich mit zunehmender Geschwindigkeit, allerdings nur im Hellen; im Dunkeln gelingt diese „Anpassung“ an die Zeitvorgabe nicht (Abb. 48). In der Zeitstruktur verschiebt sich der prozentuale Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit in Richtung Bewegungsende bei abnehmender Geschwindigkeit, d.h., die Zeit der Beschleunigung verlängert sich überproportional mit zunehmender Bewegungsdauer (Abb. 52). Die Phase zwischen maximaler Abbremsung und Ende der Rückzugszeit, bleibt absolut gesehen, fast konstant. Bei der Hinbewegung wird demnach mit zunehmender Dauer mehr Zeit vor allem in der Bremsphase zugebracht, die

überproportional anwächst. Bei der Rückbewegung nimmt hingegen die Beschleunigungsphase überproportional zu. Die körperfernen Phasen werden folglich beim Wechsel der Geschwindigkeit am stärksten variiert.

### **3.5 Zusammenfassung der Wirkung der Händigkeit**

In den Tests zur Lateralität zeigen sich klare Unterschiede in der Handgeschicklichkeit, vor allem bei den Schreib- und Zeichenbewegungen (Paper-Test), aber auch beim Purdue-Pegboard-Test mit statistisch bedeutsamen Differenzen. Dagegen sind bei den Analysen der Ziel- und Greifbewegungen kaum intermanuelle Differenzen festzustellen. Die Reaktionszeit tendiert beim Einsatz der Linken dazu, kürzer zu sein, während die Bewegungsdauer der rechten Hand kürzer ist. Die Variabilität und die Zeitstruktur der Bewegung, sowie die Höhe der Bewegungsbögen sind bei beiden Händen ähnlich (Abb. 51). Die Rechte tendiert zu höherer Bewegungsgeschwindigkeit und erstaunlicherweise weiterer Fingeröffnung, wobei die Korrelationsanalysen zeigen, dass bei vergleichbarer Geschwindigkeit die Griffapertur der Linken kleiner ausfällt.

Bei der Rückbewegung zeigen sich im Hellen eine kürzere Bewegungsdauer und signifikant kürzere Suchwege der Rechten. Die Aufschlüsselung in Rückzugs- und Einfügzeit ergibt, dass intermanuelle Differenzen vor allem bei dem Einfügen des Objektes ins Ziel auftreten. Die Höhe des Handgelenks und Zeitstruktur der Bewegung sind für die rechte und linke Hand vergleichbar (Abb. 52). Bei der Untersuchung zwischen den verschiedenen Tests zur Lateralität und der kinematischen Bewegungsanalyse sind keinerlei signifikante Korrelationen festzustellen. Probanden mit hohen Leistungen in den Paper- und Purdue-Pegboard-Tests erreichten insofern während der Ziel-Greifbewegung keine besonders hohen Geschwindigkeiten.

### 3.6 Zusammenfassung der Wirkung der Beleuchtung

Bezüglich der Hinbewegung ist festzustellen, dass die Beleuchtung einen sehr unterschiedlichen Effekt auf die einzelnen Parameter ausübt. Eine beachtliche Wirkung zeigt sich bei den Parametern zur Bewegungsdauer und denen zur Fingeröffnung. Im Dunkeln braucht man demnach länger, um zu greifen und öffnet die Finger weiter als im Hellen. Geringere Effekte offenbaren sich dagegen bei der Reaktionszeit, die im Dunkeln kürzer ist, und bei der Griffkurve, die im Dunkeln flacher ist. Die Lage des prozentualen Zeitpunkts der Maximalgeschwindigkeit verschiebt sich in Richtung Bewegungsbeginn, d.h. die Zeit der Beschleunigung verkürzt sich bei Dunkelheit. Auch die Zeitpunkte der maximalen Fingeröffnung und der maximalen Abbremsung verlagern sich im Dunkeln in Richtung Bewegungsbeginn. Abbildung 51 zeigt deutlich, über alle Bedingungen gemittelt, die Unterschiede der Zeitstruktur zwischen „hell“ und „dunkel“

Auch bei der Rückbewegung zeigen sich starke Effekte. Die Bewegungsdauer ist im Dunkeln länger, obwohl die Geschwindigkeit der Rückbewegung höher ist. Dafür braucht man im Dunkeln wiederum länger, bis man das Objekt die Zielposition erreicht hat, was dementsprechend auch den Suchweg verlängert. Kein Unterschied zeigt sich dagegen bei der Höhe der Hand. Der prozentuale Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit verlagert sich in Richtung Bewegungsbeginn, d.h., die Zeit der Beschleunigung verkürzt sich bei Dunkelheit (Abb. 52). Dagegen wird der prozentuale Zeitpunkt der maximalen Abbremsung bei der Rückbewegung im Dunkeln in Richtung Bewegungsende verschoben, d.h., die Bremsphase wird deutlich verlängert.

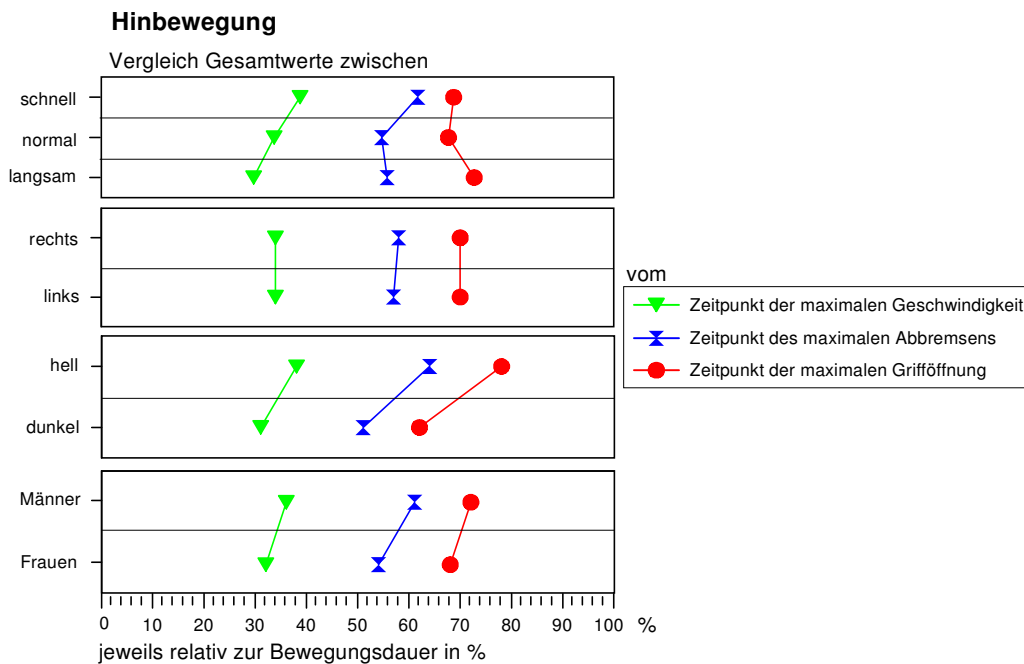


Abb. 51: **Vergleich der Gesamtwerte** zwischen den verschiedenen Bedingungen ab dem Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit, der maximalen Grifföffnung und des maximalen Abbremsens, jeweils relativ zur Bewegungsdauer der Hinbewegung.

### 3.7 Zusammenfassung der Wirkung von Geschlechtern

Zur Hinbewegung ist hervorzuheben, dass die Frauen signifikant kürzere Reaktionszeiten haben, wohingegen die Männer eine kürzere Bewegungsdauer (n.s.) aufweisen. Auch haben die Männer eine signifikant höhere Geschwindigkeit in der Bewegung, sowie eine merklich höhere Kurve der Greifbewegung. Eine deutliche Differenz zeigt sich auch bei den verschiedenen Parametern zur Fingeröffnung, die bei Männern signifikant größer ist (Tabellen 19, 21).

In der Zeitstruktur verschiebt sich der prozentuale Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit in Richtung Bewegungsbeginn, d.h. die Zeit der Beschleunigung ist bei den Frauen kürzer als bei den Männern. Auch die Zeitpunkte der maximalen Fingeröffnung und der maximalen Abbremsung verlagern sich bei den Frauen in Richtung Bewegungsbeginn (Abb. 51).

Bei der Rückbewegung ist nur als Tendenz für die Einfügzeit und den Suchweg zu erkennen, dass Männer in diesen Parametern schneller sind bzw. eine kürzere Strecke bei der Suche zurücklegen (Tabellen 21, 22). Die Zeitstruktur weist im Gegensatz zur Hinbewegung keine Differenzen zwischen Frauen und Männern auf (Abb. 52).

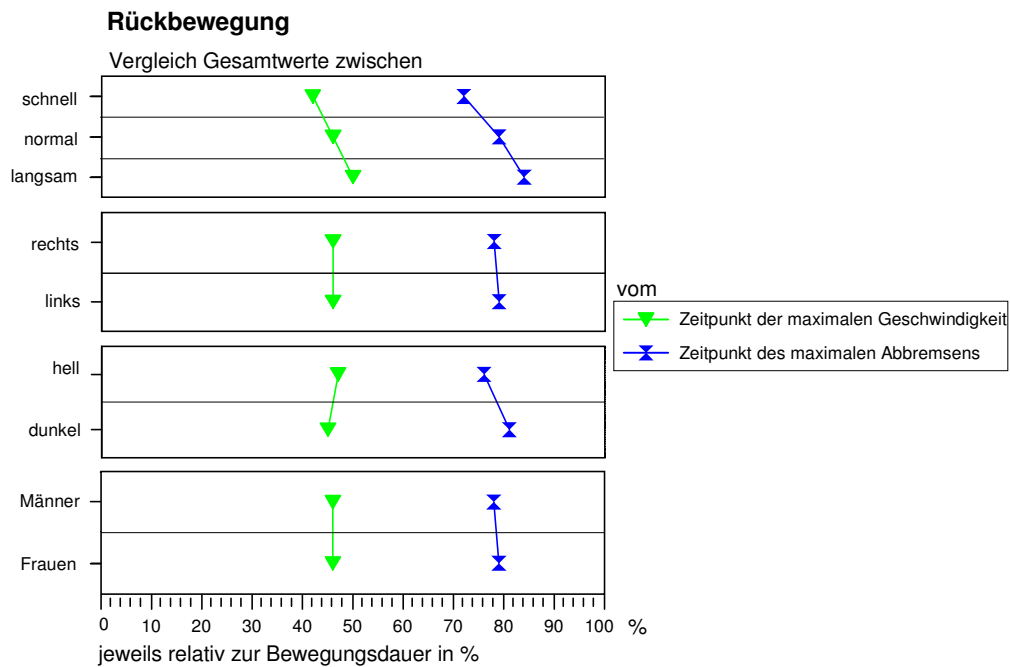


Abb. 52: **Vergleich der Gesamtwerte** zwischen den verschiedenen Bedingungen von dem Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit und des maximalen Abbremsens, jeweils relativ zur Bewegungsdauer der Rückbewegung.

### 3.8 Tabellarische Zusammenfassung der Wirkung von Geschlechtern

#### 3.8.1 Hinbewegung

**Tabelle 19: Mittelwerte, Standardabweichung und Spannweiten** über alle Bedingungen, aufgeteilt nach Männern und Frauen. Signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern sind bei den einzelnen Parametern mit Sternchen (\*) markiert, Tendenzen mit Plus (+).

	Mittelwert $\pm$ SD (Spannweite)		
	Männer	Signifikanz	Frauen
Armlänge in mm	577 $\pm$ 28 540 - 640	***	534 $\pm$ 19 505 - 565
Gemessene Fingerspanne in mm	129 $\pm$ 11 110 - 150	***	122 $\pm$ 15 110 - 160
Reaktionszeit in ms	354 $\pm$ 161 128 - 1024	*	321 $\pm$ 164 118 - 890
Bewegungsdauer in ms	1210 $\pm$ 601 346 - 2804	n.s.	1256 $\pm$ 534 450 - 2902
Streuung der Bewegungsdauer in ms	120 $\pm$ 83 17 - 434	n.s.	119 $\pm$ 74 14 - 425
Maximalgeschwindigkeit in cm/s	76 $\pm$ 35 22 - 169	+	68 $\pm$ 30 24 - 166
Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit relativ zur Bewegungsdauer in %	36 $\pm$ 8 21 - 58	**	32 $\pm$ 7 20 - 49
Mittlere Geschwindigkeit in cm/s	37 $\pm$ 19 13 - 92	*	31 $\pm$ 14 13 - 73
Maximale Höhe des Handgelenks in mm	66 $\pm$ 19 24 - 118	***	58 $\pm$ 19 29 - 138
Maximaler Abstand zwischen Zeigefinger und Daumen in mm	74 $\pm$ 15 44 - 108	+	70 $\pm$ 15 46 - 106
Abstand zwischen Zeigefinger und Daumen bei Maximalgeschwindigkeit in mm	37 $\pm$ 10 21 - 79	*	35 $\pm$ 11 16 - 67
Zeitpunkt der maximalen Fingeröffnung relativ zur Bewegungsdauer in %	72 $\pm$ 10 50 - 91	**	68 $\pm$ 10 47 - 88

**Tabelle 20: Mann-Whitney-Test, Frauen versus Männer getestet. Signifikante Unterschiede sind grau unterlegt und mit Sternchen (\*) markiert, Tendenzen mit Plus (+).**

	Reaktionszeit	Bewegungs-dauer	Streuung der Bewegungs-dauer	Maximal-geschwind-igkeit	Zeitp. der max. Geschwindigkeit relativ zur Bewegungs-dauer	Mittlere Geschwindig-keit	Max. Höhe des Hand-gelenks	Max. Fingeröff-nung	Fingeröffnung bei Maximal-geschwindig-keit	Zeitp. der max. Fingeröffnung relativ zur Bewegungs-dauer
rechts schnell hell	n.s. w	+ m	n.s. w	* m	* w	* m	n.s. m	+ w	n.s. m	* w
rechts normal hell	n.s. w	n.s. m	n.s. m	n.s. m	n.s. w	+ m	n.s. m	** w	n.s. w	** w
rechts langsam hell	n.s. w	n.s. m	n.s. m	n.s. m	n.s. w	n.s. m	n.s. m	n.s. w	n.s. w	n.s. w
links schnell hell	n.s. w	n.s. m	n.s. m	+ m	** w	* m	n.s. m	+ w	n.s. w	n.s. w
links normal hell	n.s. w	n.s. m	n.s. m	n.s. m	n.s. w	+ m	n.s. m	+ w	n.s. w	n.s. w
links langsam hell	* w	n.s. m	n.s. w	n.s. m	n.s. w	n.s. m	n.s. m	n.s. w	n.s. w	n.s. w
rechts schnell dunkel	n.s. m	n.s. m	n.s. m	+ m	+ w	+ m	* m	n.s. m	n.s. m	+ w
rechts normal dunkel	+ w	n.s. w	n.s. w	n.s. m	n.s. w	n.s. m	n.s. m	n.s. m	n.s. w	* w
rechts langsam dunkel	n.s. w	n.s. w	n.s. w	n.s. m	n.s. w	n.s. m	+ m	n.s. w	n.s. w	n.s. w
links schnell dunkel	n.s. m	+ m	n.s. m	* m	* w	* m	n.s. m	n.s. w	n.s. w	n.s. w
links normal dunkel	n.s. m	n.s. m	n.s. w	n.s. m	n.s. w	n.s. m	n.s. m	n.s. w	n.s. w	n.s. w
links langsam dunkel	n.s. w	n.s. w	n.s. m	n.s. m	+ w	n.s. m	n.s. m	n.s. w	n.s. w	n.s. w

w = weiblich, m = männlich, es wird jeweils die Tendenz zu kürzeren, (schnelleren, höheren, kleineren) Werten angegeben



### 3.8.2 Rückbewegung

**Tabelle 21: Mittelwerte, Standardabweichung und Spannweiten** über alle Bedingungen, aufgeteilt nach Männern und Frauen. Signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern sind bei den einzelnen Parametern mit Sternchen (\*) markiert, Tendenzen mit Plus (+).

	Mittelwert $\pm$ SD (Spannweite)		
	Männer	Signifikanz	Frauen
Rückzugszeit in ms	757 $\pm$ 297 324 - 1806	n.s.	716 $\pm$ 225 409 - 1418
Einfügzeit in ms	784 $\pm$ 455 102 - 1838	+	929 $\pm$ 575 106 - 2396
Bewegungsdauer in ms	1541 $\pm$ 607 582 - 2834	n.s.	1645 $\pm$ 645 600 - 3040
Maximalgeschwindigkeit in cm/s	55 $\pm$ 23 18 - 129	n.s.	50 $\pm$ 16 19 - 89
Mittlere Geschwindigkeit in cm/s	33 $\pm$ 12 12 - 70	n.s.	31 $\pm$ 9 13 - 52
Maximale Höhe des Handgelenks in mm	34 $\pm$ 16 5 - 87	n.s.	34 $\pm$ 14 10 - 94
Suchweg in mm	36 $\pm$ 23 10 - 132	+	43 $\pm$ 29 7 - 170

**Tabelle 22: Frauen versus Männer**, getestet nach Mann-Whitney. Signifikante Unterschiede sind grau unterlegt und mit Sternchen (\*) markiert, Tendenzen mit Plus (+).

	Rückzugszeit	Einfügzeit	Bewegungsdauer	Maximal- geschwindigkeit	Mittlere Geschwindigkeit	Max. Höhe des Handgelenks	Suchweg
rechts schnell hell	<b>+</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>+</b> m	<b>*</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> w
rechts normal hell	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> w
rechts langsam hell	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m
links schnell hell	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>*</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m
links normal hell	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m
links langsam hell	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m
rechts schnell dunkel	<b>n.s.</b> m	<b>*</b> m	<b>*</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>+</b> m
rechts normal dunkel	<b>n.s.</b> w	<b>*</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m
rechts langsam dunkel	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m
links schnell dunkel	<b>+</b> m	<b>*</b> m	<b>*</b> m	<b>+</b> m	<b>+</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m
links normal dunkel	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> gleich	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m
links langsam dunkel	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> m	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> w	<b>n.s.</b> gleich	<b>n.s.</b> m

w = weiblich, m = männlich, es wird jeweils die Tendenz zu kürzeren, (schnelleren, höheren, kleineren) Werten angegeben

## 4. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden insgesamt 20 junge Erwachsene im Alter zwischen 20 und 30 Jahren untersucht. Das Verhältnis der teilnehmenden Frauen und Männer war ausgeglichen (10:10). Die Ermittlung der Handlateralität, die nach einem standardisierten Schema erfolgte (vgl. Untersuchungsbogen im Anhang) ergab 100% Rechtshänder (Einschlusskriterium). Der kinematischen Analyse der Ziel- und Greifbewegungen (Jeannerod-Test) waren „neurologisch-motorische“ Untersuchungen zur Beurteilung der Händigkeit vorangestellt und dienten der Probandenauswahl. Zusätzlich wurden Tests durchgeführt, die die Wortflüssigkeit und das dreidimensionalen Denken überprüfen sollten, sowie die psycho-sozialen Eigenschaften der Probanden. Diese Versuche (im folgenden auch Korrelate genannt) wurden ausgewählt, da sie von anderen Wissenschaftlern eindeutig zur Identifizierung von Lateralität zugeordnet wurden.

Da zahlreiche Testverfahren statistisch relevante Ergebnisse hervorbrachten, spielt die geringe Gruppengröße keine Rolle. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Störfaktoren so gering wie möglich gehalten und die Probanden zur gleichen Tageszeit untersucht wurden und somit eine Homogenität der Stichprobe gewährleistet wurde. Die Reihenfolge sowohl der Korrelate als auch der Bedingungen beim Jeannerod-Test wurde randomisiert.

### **4.1 Neurologisch-motorische und psycho-soziale Untersuchungen zur Lateralität**

Die sogenannten „Paper and Pencil-Tests“ wurden von Annett (1992) entwickelt, um die Händigkeit der Menschen präziser zu untersuchen. Mit Hilfe dieser Aufgaben ist sichtbar geworden, dass es einen hochsignifikanten Unterschied zwischen der Leistung der rechten und der linken Hand gibt. Für

die Tests zur Lateralität habe ich nur einen bestimmten Versuch angewandt, und zwar den bei Annett genannten "Square-Test", welcher die deutlichsten Leistungsunterschiede zwischen den beiden Händen hervorbringt. Bei dieser Aufgabe mussten Kreuze in kleine Kästchen gezeichnet werden, welches sehr dem Bewegungsmuster des Schreibens ähnelt und der präferierten (rechten) Hand einen Vorteil verschafft. Zudem lagen die Kästchen so nahe beieinander, dass die Bewegungen flüssig durchgeführt werden konnten, genauso wie es beim Schreiben von Wörtern auch der Fall ist.

Da alle Versuchspersonen in dieser Untersuchung Rechtshänder sind, bedeutet das, dass sie alle mit der rechten Hand geübter sind und feinmotorische Bewegungen besser ausführen können. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen wieder. Hier unterscheiden sich Männer und Frauen nicht in der Leistung und werden daher im weiteren Beschreiben der Korrelate nicht getrennt betrachtet. In der Literatur konnten keine Angaben zu Geschlechtsunterschieden bezüglich der Handleistung gefunden werden. Zum Vergleich mit anderen Korrelaten wurden die Geschlechter untersucht, aber es wurden keine Differenzen festgestellt.

Sowohl bei dem „Paper-Test“ und zum Teil auch bei dem „Purdue-Pegboard-Test“ handelt es sich um feinmotorische Bewegungen, folglich kann man hier die bessere Leistung der rechten gegenüber der linken Hand erklären („Speed-accuracy Trade-off“ nach Fitts, 1954). Bei den Leistungsvergleichen der rechten und linken Hand dieser beiden Tests spielt der sogenannte „Index of difficulty“, den Fitts 1954 definiert hat, eine Rolle. Mit diesem Index kann man berechnen, inwieweit eine Veränderung des Versuchsaufbaus die manuelle Schwierigkeit des Tests erhöht. Je komplexer ein Versuch aufgebaut ist, desto größer ist die manuelle Schwierigkeit, da ein größerer Informationsgehalt verarbeitet werden muss.

Die Aufgaben „Paper-Test“ und „Purdue-Pegboard“ lassen sich wegen ihrer unterschiedlichen Anforderungen nicht direkt bzw. nur unter gewissen Voraussetzungen miteinander vergleichen. Die dominante Hand ist viel geübter

darin, Schreib- und Zeichenbewegungen mit einem Stift durchzuführen als „Pegs“ (Metallstifte) in Löcher zu platzieren. Außerdem muss der Peg von oben mit dem Daumen und ein bis zwei Fingern gegriffen werden, während der Stift von dem Probanden im normalen Schreibgriff (der Stift liegt auf dem distalen Segment des Mittelfingers und wird mit Daumen und Zeigefinger gefasst) gehalten wird. Weiterhin muss beachtet werden, dass der Stift die ganze Zeit während des Durchganges in der Hand bleibt, wohingegen mehr als zehn Pegs pro Durchgang gegriffen, platziert und wieder losgelassen werden. Beide Testarten kommen zwar zu dem Ergebnis, dass sich eine deutliche Handasymmetrie zugunsten der bevorzugten Hand abzeichnet, wobei aber der „Paper-Test“ eine stärkere Differenz zwischen den Händen zeigt als der „Purdue-Pegboard-Test“.

Je komplexer eine manuelle Tätigkeit ist, desto größer ist der Händigkeit-unterschied, da der kognitive Anteil zunimmt. Alle meine Probanden haben gezweifelt, mit ihrer non-dominanten Hand überhaupt erfolgreich zu sein. Offenbar ist die persönliche Einschätzung der Leistungsfähigkeit der non-dominanten Hand geringer, als die Leistungsfähigkeit in Wirklichkeit ist. Wahrscheinlich liegt es daran, dass diese Hand im Alltag viel zu wenig eingesetzt wird und man deshalb die Fähigkeiten, mit ihr erfolgreich zu arbeiten, unterschätzt. Laut Fleishman (1967, 1972) setzt sich die Geschicklichkeit aus vielen wenig miteinander korrelierenden Komponenten zusammen: Genauigkeit, Schnelligkeit, Lernfähigkeit, Koordinationsfähigkeit, optische Wahrnehmung, Feinmotorik, taktile Empfindung, Reaktionszeit, Komplexität und Art der Aufgabenstellung. So ist es auch verständlich, dass nur stark lateralisierte Personen eine deutlich höhere Geschicklichkeit der bevorzugten Hand aufweisen (Annett et al., 1974; Flowers, 1975). Tatsächlich verbessert sich während vieler Wiederholungen eine Zielbewegung unabhängig von der genutzten Hand progressiv (Schmidt & Thews, 2000).

Wie eingangs bereits geschildert, habe ich als weiteres Korrelat zur Lateralität den Schlauchfiguren-Test eingesetzt, der die dreidimensionalen mentalen Rotationsfähigkeiten der Probanden überprüfen soll. Dass Männer

typischerweise bessere Leistungen in mentalen Rotationstests demonstrieren, wurde von vielen Forschern bescheinigt (MacCoby & Jacklin, 1974; McGee, 1980; Linn & Peterson, 1985; Johnson & Meade, 1987; Gouchie & Kimura, 1991; Peters et al., 1995; Collins & Kimura, 1997). Aber die Befunde scheinen heterogen zu sein, da andere Forschungsarbeiten Belege dafür geliefert haben, dass es entweder keinen Geschlechtsunterschied gibt, oder eine weibliche Überlegenheit (Jones & Anuza, 1982; Van Strien & Bouma, 1990; Voyer & Bryden, 1990).

Die Gruppe rekrutierte sich zu 100% aus Studenten, die zudem überwiegend ein medizinisch oder mathematisch-naturwissenschaftliches Studium absolvierten (90% der Frauen und Männer). Laut Peters et al. (1995) schneiden Studenten der Naturwissenschaften in dreidimensionalen Versuchen in der Regel signifikant besser ab als Studenten der Geisteswissenschaften. Meine Probanden zeigten im Schlauchfiguren-Test zwar keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern, aber die Ergebnisse der Frauen weisen eine höhere Streuung auf als die der Männer. Die Tatsache, dass sich zwischen den Frauen und Männern kein signifikanter Unterschied fand, bestätigt den von Richardson (1994) festgestellten Trend, dass geschlechtstypische Unterschiede in dreidimensionalen Versuchen über die letzten 20 Jahre deutlich kleiner geworden sind. Er führt dies eher auf soziokulturelle denn auf biologische Erklärungsmodelle zurück. Dass die Frauen nicht so schlecht wie in den Arbeiten von Ginn & Stiehl (1999) abschnitten, könnte aber auch andere Ursachen haben, z. B., dass der Großteil meiner Probandinnen Medizinstudentinnen waren, die die Fähigkeit zu einer guten Vorstellungskraft für die Dreidimensionalität des menschlichen Körpers besitzen, andererseits diese Vorstellungskraft durch das Medizinstudium vielleicht besser trainiert wurde. Es könnte aber auch mit einer geänderten Geschlechtsrollenidentifikation zusammenhängen, indem die Frauen heute mehr Möglichkeiten in der Ausbildung und Arbeitswelt haben oder eine andere Erziehung erfahren. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass es auch mit sozialen Veränderungen zusammenhängt und infolgedessen mit Veränderungen in der Leistungsfähigkeit, evtl. sogar Lateralitätsmodifikation.

Der Zusatztest zur Findung von Sprachflüssigkeit sollte zeigen, ob Frauen bei der Findung von Wörtern den Männern gegenüber im Vorteil sind. Im „Word-fluency-Test“ meiner Studie konnte das Ergebnis von Kimura (1973), dass Frauen hier den Männern überlegen sind, nicht belegt werden. Auch dieses Ergebnis könnte mit der Probandenauswahl zusammenhängen. Es ist denkbar, dass die „Vorteile“, die zu guten Ergebnisse in den Rotationstests der weiblichen Probanden führten, sich auf die Ergebnisse der Sprachflüssigkeit genau gegenteilig auswirken. Es ist somit einerseits möglich dass die Frauen im Wortfindungstest im Vergleich zur Kimura-Studie von 1973 gegenüber den Männern schlechter geworden sind, andererseits kann es aber auch sein, dass die Männer in der vorliegenden Studie besser geworden sind. Der diachrone Trend, d.h., der Trend über die Zeit betrachtet, scheint die Ergebnisse zu nivellieren. Eventuell biologisch bedingte Geschlechtsunterschiede sind nicht vorhanden. Die vorliegenden Ergebnisse dürften von psycho-sozialem Verhalten herzurühren.

Anhand des Korrelats zur Geschlechtsrollenidentifikation, welche durch den Selbsteinschätzungs-Test (BSRI) erfasst wurden, liegen keine signifikanten Ergebnisunterschiede vor. Im Vergleich zur Stichprobe von Bem (1974) liegen die weiblichen Versuchspersonen im Mittelwert der Femininitätsskala niedriger, d.h. sie identifizieren sich weniger mit den Femininitäts-Items. Diese Beobachtung lässt sich wahrscheinlich durch den großen zeitlichen Abstand zwischen den Erhebungen beider Stichproben erklären. In den letzten 30 Jahren wurde die in unserer Gesellschaft vorherrschende, starre Rollenverteilung vermehrt gelöst, wodurch die starke Identifikation mit den sogenannten weiblichen Eigenschaften nicht mehr so zwangsläufig ist wie damals. Hierfür spricht auch die Beobachtung, dass sich die Frauen in meiner Studie im Vergleich zur Stichprobe von Schneider-Düker & Kohler (1988) heute maskuliner einschätzen, was unter anderem bedeutet, dass sie sich dominanter bewerten. Die Männer zeigten dagegen in der vorliegenden Stichprobe, im Vergleich zu früheren Arbeiten, einen Trend zur Femininisierung, da sie sich weiblicher und weniger männlich beurteilten.

Dadurch lässt sich auch die hohe Prozentzahl an „androgynen“ Versuchspersonen erklären, denn bei Erreichen hoher Werte sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Eigenschaften, wird dies als „androgyn“ bezeichnet.

Da die Ergebnisse einer Untersuchung von Aschermann und Schulz (1997) Zweifel an der aktuellen Gültigkeit des Bem Sex-Role-Inventary aufkommen ließen, führten sie eine Neunormierung dieses Fragebogens mit 400 Studentinnen und Studenten der CAU durch. Dabei zeigte sich, dass die inzwischen 30 Jahre alte Itemauswahl nicht mehr geeignet ist, um Unterschiede in der Geschlechtsrollenorientierung abzubilden. Deshalb wird zur Zeit ein neuer, stärker verhaltensorientierter Fragebogen zur Geschlechtsrollenorientierung, in Anlehnung an die Skalen von Orlofsky, unter der Leitung von Dr. Ellen Aschermann und Dipl.-Psych. Patricia Schulz entwickelt. Vielleicht kann man sagen, dass das Ergebnis für heutige Studierende bezeichnend ist, d.h., es gibt keine typischen „Machos“ und keine typischen „Weibchen“. Der diachrone Trend der Androgynisierung weist geschlechtstypische Unterschiede als sozio-kulturelles Phänomen aus, das auch in der vorliegenden Studie sichtbar wird.

Auch in einer Studie von Seehafer (2003), die den BSRI überarbeitet hat, zeigten sich viele Versuchspersonen mit androgynen Werten. Selbst die Männer in klassischen Männerberufen wie Seemann oder Rettungssanitäter weisen höhere Werte auf der Femininitätsskala als auf der Maskulinitätsskala auf, andererseits zeigen viele Frauen hohe maskuline Werte, ohne gleichzeitig an Weiblichkeit einzubüßen. Es hat den Anschein, als würde die Geschlechtsrollenorientierung insgesamt nur noch eine untergeordnete Rolle spielen.

Diese Ergebnisse passen sehr gut zu den Ergebnissen des Wortfindungstest und des Rotationstests, auch hier gibt es nur wenige extreme maskuline und feminine Probanden, es zeigt sich somit kaum eine Polarität. Bei der Beurteilung des Fragebogenergebnisses muss eine Einschränkung der Aussagefähigkeit berücksichtigt werden, da die Ergebnisse ausschließlich auf Selbsteinschätzungen der Probanden beruhen und somit eine gewisse



Objektivität von den Versuchspersonen fordern. Möglicherweise zeigen Probanden eine zentralere Tendenz in den Antworten, da sie Extremwerte zum Schutz ihrer Intimsphäre vermeiden wollen. Dies ist ein gängiges Phänomen, dass bei empirischen Untersuchungen, insbesondere bei Persönlichkeitstests, schon lange bekannt ist und berücksichtigt wird (Christiansen, 1992).

Nach den Zusatztests, die Aufschluss über Händigkeit, räumliches Denken, Sprachflüssigkeit und Geschlechtsrollen geben, führten die Versuche der Ziel- und Greifbewegungen zu interessanten Ergebnissen.

#### **4.2. Analyse der Ziel- und Greifbewegung**

Eine Reichbewegung setzt sich zusammen aus einer Beschleunigungs- und einer Bremsphase. Das Geschwindigkeitsprofil ist gleichmäßig bei schnellen Bewegungen, dagegen wird es asymmetrisch, wenn die Betonung auf einer exakten Durchführung liegt, wobei die Bremsphase verlängert wird (Wing et al., 1986). Reichen und Zeigen sind einfache Bewegungsmuster, während das Greifen eine hochentwickelte Form ist, die auf einer differenzierten Steuerung der Hand beruht, welche das koordinierte Zusammenspiel zwischen deren Knochen, Muskeln und Sehnen gewährleistet (Jeannerod, 1993). Während einer Ziel- und Greifbewegung bilden die Annäherung der Hand an das Objekt und die Einstellung der Finger einen einheitlichen, stereotyp koordinierten Ablauf (Wallace & Weeks, 1988). Der Griff wird entsprechend der Größe und Form des Objekts eingestellt. Nachdem sich die Finger im ersten Teil der Bewegung geöffnet haben, schließen sie sich mit zunehmender Annäherung an das Objekt so, dass die Fingerkuppen den Gegenstand am Ende der Zielbewegung berühren (Jeannerod, 1984; Chieffi & Gentilucci, 1993). Bei einer Studie von Marteniuk et al. (1987) zeigte sich, dass die Bewegungsbahn des Armes abhängig von der Zielaufgabe ist. Wenn man einen Gegenstand nur berührt, dauert die Beschleunigungsphase länger, als wenn man nach ihm greift. Interessanterweise benutzen die Probanden von Marteniuk et al. das Ziel, das sie nur berühren sollten, zur Abbremsung der Bewegung. Dagegen wurde beim Greifen nach dem Objekt

schon vorher abgebremst, da es notwendig ist, den Griff mehr zu kontrollieren. Daraus resultiert eine längere Abbremsphase in der Bewegungsbahn, die zu der Asymmetrie des etwa glockenförmigen Geschwindigkeitsprofil führt. Der Weg der Hand beim Greifen wird meist als die Reihenfolge der Positionen beschrieben, denen das Handgelenk in Raum folgt (Jeannerod, 1993; Kutzt-Buschbeck et al., 1998 a, b). Die Bahn der Hand ist die Zeitreihenfolge dieser aufeinanderfolgenden Positionen (Hollerbach & Flash, 1982). Die Reich- oder Transportierkomponente bezieht die proximalen Gelenke und Muskelgruppen mit ein und reflektiert eine Ermittlung der Koordinaten eines Punktes in einem körperzentrierten Bereich durch das visuelle und propriozeptive System. Die Greif- oder Handhabungskomponente involviert die distalen Gelenke und Muskeln und erfordert die visuelle Berechnung der Form, der Größe und des Gewichts des Gegenstandes (Jeannerod, 1984).

#### **4.2.1 Entwicklungsaspekt des Greifens**

Säuglinge zeigen in den ersten vier Monaten eine sogenannte „prereaching“ Bewegung, d.h., sie bewegen ihre Hand schon in die Richtung des gezeigten Objekts, ohne es zu greifen (von Hofsten, 1984). Zwischen dem 4. und 9. Monat lernt das Kind gezielt, zu greifen, und am Ende des ersten Lebensjahres gelingt erstmals der Präzisionsgriff (von Hofsten, 1979). Die Greifbahn und das Geschwindigkeitsprofil von Kindern wirken jedoch im Gegensatz zu dem von Erwachsenen noch recht unregelmäßig. Während das Geschwindigkeitsprofil von Erwachsenen eingipflig und etwa glockenförmig ist, sind die entsprechenden Kurven junger Kinder mehrgipflig und segmentiert. Vor dem zweiten Lebensjahr unterscheiden sich die meisten kinematischen Parameter deutlich von den Vergleichswerten Erwachsener, selbst wenn die Unterschiede der Armlänge und Handgröße berücksichtigt werden. Zwischen dem zweiten und dritten Jahr gibt es nur minimale Verbesserungen (Konczak & Dichgans, 1997). Erst ab dem 4. Lebensjahr taucht ein glatteres Profil auf, das bis zum 10. Lebensjahr stereotypisch wird, d.h., der Griff wird genauer dem Ziel angepasst und die Griffbildung wird besser mit der Zielbewegung koordiniert (Kutzt-Buschbeck et al., 1998 a, b). Die jüngeren Kinder greifen

relativ gesehen mit einer weiteren Grifföffnung, die intraindividuelle Variabilität ist höher, die Abbremsphase ist kürzer und ihr Bewegungspfad zeigt mehr Kurven auf als bei den Erwachsenen (Kutzt-Buschbeck et al., 1998 a, b). Auch die Griffkräfte beim Fassen von Gegenständen mit Daumen und Zeigefinger sind in jungen Jahren noch unregelmäßig bzw. zu stark, da Kinder zur Vorausplanung noch nicht fähig sind (Forssberg et al., 1991). Beim Anheben der Gegenstände ist die Koordination und Dosierung der Griff- und Hubkräfte des Präzisionsgriffs etwa bis zum 10. Lebensjahr ausgereift (Forssberg et al., 1992). Möglicherweise ist die Reifung des kortikospinalen Systems eine Voraussetzung für die Entwicklung und Verbesserung feinmotorischer Fertigkeiten im Kindesalter. Untersuchungen der zentralen motorischen Leitungszeit mittels transkranieller Magnetstimulation zeigen, dass die Myelinisierung der kortikospinalen Bahnen wahrscheinlich bis zum Ende des 10. Jahres andauert (Müller & Hömberg, 1992).

#### **4.2.2 Geschwindigkeitsanalyse**

Beim einfachen Zeigen auf ein Ziel besteht eine gegenseitige Abstimmung zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit der Bewegungen (Fitts, 1954). So ergibt die Erhöhung der Geschwindigkeit der Bewegung eine erhöhte Variabilität des Bewegungsendpunktes im Zielbereich. Wegen der größeren Ungenauigkeit wird die Grifföffnung beim schnellen Greifen größer (Wing et al., 1986). Dies bestätigt sich auch in meiner Arbeit: Die Fingeröffnung nimmt in etwa linear mit zunehmender Geschwindigkeit zu. Dabei zeigt sich jedoch kein Händigkeitseffekt bei den Probanden der vorliegenden Studie. Wenn Versuchspersonen so schnell wie möglich eine Reichbewegung ausführen sollen, ist die Bewegungsdauer kürzer und sie machen mehr Fehler, als wenn sie so genau wie möglich greifen (Fisk & Goodale, 1989). Erstaunlicherweise führen die Versuchspersonen die schnellen Bewegungen gleichmäßiger, d.h. mit weniger Streuung, aus. Die Dauer der Beschleunigungsphase bleibt absolut gesehen in etwa gleich, während sich das Maximum der Geschwindigkeit erhöht und die Dauer der Abbremsphase sich bei schnelleren Bewegungen verkürzt (Fisk & Goodale, 1989). Die Geschwindigkeit hat folglich einen

großen Einfluss auf das Greifen der Hände, d.h., je schneller man greift, desto unvorsichtiger nähert man sich dem Ziel und desto ungenauer wird die Bewegung. Dieser Mangel an Präzision wird durch eine weitere Grifföffnung kompensiert, sowohl bei der dominanten als auch bei der non-dominanten Hand gleichermaßen. Die durchschnittliche Reaktionszeit nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit der Gesamtbewegung kontinuierlich ab. Bei Zunahme der Geschwindigkeiten verschiebt sich der Zeitpunkt der maximalen Grifföffnung relativ zur Bewegungsdauer in Richtung Bewegungsanfang, während sich der Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit in Richtung Bewegungsende verschiebt (siehe Abb. 51, S. 107). Die Höhe der Bewegungsbögen nimmt sowohl bei der Hin- als auch bei der Rückbewegung ab, wenn das Greifen schneller von statten geht. Bei der Rückbewegung nimmt mit zunehmender Dauer der Rückzugszeit die Dauer der Beschleunigungsphase überproportional zu, während bei der Hinbewegung mehr Zeit für die Abbremsphase benötigt wird. Besonders die Phasen, während derer die Hand vom Körper weiter entfernt ist, werden mit Zunahme der Bewegungsdauer länger. Das könnte daran liegen, dass eine größere Unsicherheit vorherrscht, wenn man weiter vom Körper entfernt arbeitet. Die Einfügzeit und der Suchweg verkürzen sich bei Abnahme der Bewegungsdauer, da es beim Suchen eine bessere Hand-Augen-Koordination gibt und auch bei schnellen Bewegungen das Objekt zügig an sein Ziel gebracht werden kann. Bei der Bewegungsdauer der Rückbewegung zeigt sich, dass die Probanden sich weiterhin an die Geschwindigkeitsvorgaben gehalten haben; wenn sie „schnell“ zum Objekt greifen, führen sie es auch „schnell“ wieder zurück.

#### **4.2.3 Der Einfluss des Lichtes auf das Greifen**

Die Grifföffnung bei einer gezielten Greifbewegung ist größer, wenn beim Reichen die Augen geschlossen sind (Wing et al., 1986). Solch eine weitere Fingeröffnung zur Kompensation der fehlenden visuellen Kontrolle sieht man bei Erwachsenen und bei Kindern (Kutzt-Buschbeck et al., 1998 a, b). In der vorliegenden Arbeit ergab sich ebenfalls eine deutlich größere Fingeröffnung

beim Greifen im Dunkeln im Vergleich zum Greifen mit visueller Kontrolle. Dies galt für die dominante und die nicht-dominante Hand. Auch der Zeitpunkt der maximalen Grifföffnung relativ zur Bewegungsdauer belegt, dass im Dunkeln die Finger früher gespreizt werden.

Größere maximale Grifföffnungen und höhere maximale Höhe in der Bahn des Handgelenkes wurden bei den Versuchen von Jakobson und Goodale (1991) erreicht, bei denen die Versuchsperson ihre Hände nicht sehen konnte. Des weiteren scheint es so, dass, wenn Probanden eine vorprogrammierte Strategie annehmen, bei der sie vermuten, dass sie ihr Reichen „online“ nicht verändern können, sie dann ihre Hand bei jedem randomisierten Versuch weit öffnen. Dabei ist es egal, ob es sich um Versuche mit oder ohne visuellen Feedback Versuche handelt, da sie bei den randomisierten Versuchen nicht imstande sind, vorauszusagen, ob sie ihre Hand sehen können oder nicht (Jakobson & Goodale, 1991). Diese Ergebnisse widersprechen der Aussage von Jeannerod (1984), in welcher er behauptet, dass das visuelle Feedback keinen Einfluss auf die Bewegungsstrukturierung und die intersegmentale Koordination bei Greifbewegungen hat. Die Entdeckungen von Fitts & Crannell (1950) demonstrieren, dass der Ausgangspunkt, der Bewegungsumfang und alle Bewegungsendpunkte die Genauigkeit des Blindreichens beeinflussen.

Die Höhe der Bewegungsbahn der Hand nimmt bei meinen Probanden bei Dunkelheit ab. Die Zeitpunkte der Maximalgeschwindigkeit, der maximalen Fingeröffnung und der maximalen Abbremsung verlagern sich im Dunkeln bei der Hinbewegung in Richtung Bewegungsbeginn, so dass mehr Zeit für den letzten Teil der Bewegung verwendet wird. Während sich bei der Rückbewegung sich die Maximalgeschwindigkeit auch in Richtung Bewegungsanfang verschiebt, wird dagegen der Zeitpunkt des maximalen Abbremsens dagegen in Richtung Bewegungsende hinausgezögert.

Bei „langsamen“ und bei „normalen“ Bewegungsabläufen ist die Geschwindigkeit im Dunkeln höher als im Hellen, möglicherweise, um sich rasch dem Ziel zu

nähern, bevor die Erinnerung an die vorher gesehene Position verblasst. Die Wahl eines direkten Weges im Dunkeln erklärt auch die abnehmende Höhe der Bewegungsbahn. Diese höheren Geschwindigkeitsmaxima führen aber nicht zu einer bedeutsamen Verkürzung der Bewegungsdauer, erbringen also keine Zeitersparnis. Nur beim schnellen Greifen werden im Dunkeln niedrigere Geschwindigkeitsmaxima als im Hellen erreicht, wobei der Faktor der Unsicherheit unter dieser Bedingung des Zeitdrucks eine Rolle spielen mag. Interessanterweise zeigten sich lichtabhängige Differenzen der Bewegungsgeschwindigkeit eher an den mittleren Geschwindigkeitswerten als an den Maximalwerten. Der zweite abbremsende und suchende Teil der Bewegung wird nicht bei der Berechnung der maximalen, wohl aber bei der mittleren Geschwindigkeit berücksichtigt und setzt letztere herab. Er führt auch zu einer Verlängerung der gesamten Bewegungsdauer im Dunkeln.

Frühere Arbeiten haben in Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Studie gezeigt, dass die Reaktionszeit beim Greifen ohne Sichtkontrolle kürzer ist (Kultz-Buschbeck et al., 1998 a, b), wohingegen sich die Bewegungsdauer verlängert. Dass die Reaktionszeit im Dunkeln kürzer ist, könnte zum einen daran liegen, dass das Startsignal durch einen doppelten (akustischen und visuellen) Reiz erfolgt, zum anderen ist es durchaus denkbar, dass im Dunkeln eine Reizminimierung stattfindet und somit dem Probanden keine visuelle Ablenkung widerfährt. Eine dritte Erklärung ist, dass die Versuchsperson schnell ans Ziel kommen möchte und somit die Reaktionszeit verkürzt. Dies sind jedoch nur Mutmaßungen, denn die Ursache kann an dieser Stelle nicht festgelegt werden. Die Bewegungsdauer im Dunkeln ist länger, und die zeitliche Struktur der Bewegung ändert sich (Kultz-Buschbeck et al., 1998 a). Die Höchstgeschwindigkeit und die maximale Grifföffnung werden nämlich im Dunkeln früher erreicht. Die Streuung der Bewegungsdauer nimmt im Dunkeln zu, d.h., die Bewegungen sind unter visueller Kontrolle exakter. Auch dieses Verhalten zeigt eine entwicklungsphysiologische Reifung. Im Dunkeln müssen Kinder das Greifen häufiger nachkorrigieren als Erwachsene. Erst ab dem Alter von ca. 12 Jahren sind Kinder in der Lage, die Grifföffnung entsprechend verschiedener Größen der Zielgegenstände

einestufen, wenn die Sichtkontrolle der Bewegung fehlt (Kultz-Buschbeck et al., 1998 b). Wenn Augen- oder Kopfbewegungen nicht erlaubt sind, ist das Erreichen des Ziels sehr ungenau. Der Beitrag der Augen- und Kopfbewegungen zur Genauigkeit des Reichens liegt vermutlich an der Foveation des Ziels und an der visuellen Überwachung der Handbewegung (Prablanc et al., 1979). Keinen Einfluss hat die Beleuchtung auf die Rückzugszeit und auf die Handgelenkhöhe während der Rückbewegung. Die „Flugbahn“ ändert sich kaum, da die Hand vom Objekt zum Zielpunkt fast in einer Linie gezogen wird, während man bei der Hinbewegung mehr von oben greift. Im Dunkeln sind bei der Rückbewegung die Einfügzeit, die Bewegungsdauer und der Suchweg länger, während die maximale und die mittlere Geschwindigkeit höher sind als im Hellen.

#### **4.2.4 Handdominanz**

Bislang fehlen in der Literatur Vergleiche der dominanten und der non-dominanten Hand bezüglich ihrer Anpassung an Lichtverhältnisse und wechselnde Geschwindigkeit bei gezielten Greifbewegungen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass beide Hände sehr ähnliche Anpassungen bei Variationen sowohl der Geschwindigkeit als auch der Beleuchtung zeigen. Wie bereits oben beschrieben, gibt es hier deutliche intermanuelle Unterschiede in der Handgeschicklichkeit bei den Korrelaten. Dahingegen sind nur geringe Unterschiede bei den Ziel- und Greifbewegungen in der Hinbewegung hinsichtlich der Händigkeit festzustellen. Die rechte Hand zeigt eine Tendenz zu höherer Geschwindigkeit bei der Hinbewegung. Damit verbunden ist eine kürzere Bewegungsdauer und eine größere Fingeröffnung, die eventuell durch die höhere Geschwindigkeit bedingt ist. Der einzige auffallende Unterschied ist die kürzere Reaktionszeit der linken Hand. Als wesentliches Ergebnis zeigen beide Hände die gleiche Steigerung der Fingeröffnung unter erschwerten Bedingungen des Greifens, nämlich bei einer Erhöhung der vorgegebenen Geschwindigkeit und beim Fehlen der visuellen Kontrolle (Abb. 32, 34). Auch bei der Rückbewegung zeigt sich nur eine leichte Unterlegenheit (d.h. längere Zeiten) der non-dominanten Hand beim

Greifen unter Sicht, während sich unter erschwerten Bedingungen, ohne visuelle Kontrolle, die intermanuellen Differenzen verwischen. Das könnte daran liegen, dass nicht die optimale Leistung mit der dominanten Hand erbracht wird, wenn das Objekt nicht gesehen wird. Die dominante Hand ist nur unter Sicht überlegen, wenn eine Hand-Augen-Koordination erfolgen kann. Nur noch der Suchweg zeigt im Dunkeln eine leichte Differenz zwischen den Händen. Bei allen Bedingungen korreliert der Suchweg mit der Einfügzeit. Insbesondere bei schneller Bewegung verlängert sich dieser Weg mit zunehmender Dauer.

Auch Toyokura et al. (2003) konnten keine intermanuellen Unterschiede bezüglich der Leistung in verschiedenen Vergleichen finden. Die nicht-dominante Hand kann als alternative Hand im JTMT (Japanese Trail Making Test) benutzt werden, und es wird erwartet, dass sie die Tests in vergleichbarer Weise durchführen kann wie die dominante Hand. Das Fehlen von jedem signifikanten intermanuellen Unterschied wird dadurch erklärt, dass die Gesamtzeit der Bewegung weniger durch die Bewegungszeit als durch die Reaktionszeit beeinflusst wird.

#### **4.2.5 Neurophysiologie**

Im primär-motorischen Kortex gibt es eine überproportionale Repräsentation der Hand. Außerdem sind an der Steuerung von Fingerbewegungen noch sensorische, prämotorische und supplementär-motorische, sowie posteriore parietale Areale beteiligt. Neurone des prämotorischen und motorischen Kortex sind für die Initiierung von Bewegungen verantwortlich, während parietale Neurone die räumliche Planung von Bewegungen bewerkstelligen und überwachen.

Es liegt eine Arbeitsteilung zwischen der rechten und der linken Hand vor, die neuronal auf die funktionelle und morphologische Asymmetrie der Hirnhälften zurückgeht. Aufgrund der gekreuzt-lateralen Kontrolle übernimmt die rechte Gehirnhälfte die neuronale Steuerung der linken Seite und umgekehrt. Die linke Hemisphäre zeigt sich dominant bei der Produktion und



Verarbeitung von Sprache und der Planung und Steuerung motorischer Fertigkeiten, wohingegen insbesondere räumliche Kompetenzen stärker von der Verarbeitung der rechten Hemisphäre abhängen. Mountcastle et al. (1975) beschrieben eine Kategorie Zellen, die in der hinteren parietalen Rinde (Bereiche 5 und 7) von Affen gefunden wurden, die nur bei aktiver Bewegung des Armes im Raum erregt wurden ("Reich-Neurone"). Diese Neurone waren auch beim Reichen in kompletter Dunkelheit aktiviert (Mountcastle et al., 1980). Eine Studie an Affen von Fogassi et al. (2001) zeigt, dass nach Inaktivierung des Bereichs F5 im ventralen prämotorischen Kortex, die Griffbildung der greifenden Hand gestört war und die Handform somit nicht für die Gegenstandsgröße und -form geeignet war. Nach einer Reihe Korrekturen, die unter taktiler Kontrolle gemacht wurden, waren die Affen schließlich in der Lage, die Gegenstände zu fassen. Der Bereich F5 des ventralen prämotorischen Kortex enthält Neurone, die bei visueller Präsentation von Gegenständen, die in Reichweite liegen, entladen und in Verbindung mit dem primär motorischen Kortex die richtige Einstellung und Formung der greifenden Finger kontrollieren (Zitat Jeannerod, 1995). Bei Inaktivierung kleinerer Gebiete betraf das Defizit nur die Hand auf der der Läsion gegenüberliegenden Seite (kontralateral), während bei Inaktivierung größerer Gebiete von F5 zusätzlich die ipsilaterale Hand betroffen war. Nach Inaktivierung von großen Bereichen zeigte die kontralaterale Hand Bewegungsschwäche und -ungeschicktheit, während die ipsilaterale Hand ausschließlich visuomotorische Defizite hatte. Das Vorhandensein des Defizits der ipsilateralen Hand steht in Verbindung mit dem Vorhandensein eines höheren Prozentsatzes von Neuronen in Area F5, die bei Bewegungen der ipsilateralen, sowie der kontralateralen Hand entladen (Rizzolatti et al., 1988). Die Existenz bilateraler Defizite der Griffbildung nach Läsionen des linken ventralen Prämotorkortex deutet darauf hin, dass dieses Gebiet die Griffapertur möglicherweise einheitlich für die linke und die rechte Hand plant. Eine solche von der benutzten Hand unabhängige neuronale Planung würde die ähnliche Griffbildung der dominanten und non-dominanten Seite bei wechselnden Bedingungen (Licht, Geschwindigkeit) erklären. Hammond et al. (2004) stellten allerdings fest, dass die neuronalen Schaltkreise der intrakortikalen Hemmung

und Faszilitierung im primären Motorkortex in der dominanten Hemisphäre stärker sind als in der nicht-dominanten, und vermuteten, dass dieser Unterschied ein Faktor in der asymmetrischen Geschicklichkeit ist, die mit Handpräferenz verbunden ist und sich auch in den Korrelaten zeigte.

#### **4.2.6 Geschlechtsunterschiede**

Geschlechtsunterschiede sind für eine Vielzahl kognitiver Fähigkeiten beschrieben worden (Kimura, 1992; MacCoby & Jacklin, 1974). Obwohl die Varianz in den Leistungen verschiedener Aufgaben innerhalb jedes Geschlechts größer ist, als die Varianz zwischen den beiden Geschlechtern und sich daher die Leistungen beider Geschlechter zu einem erheblichen Teil überlappen (McKeever, 1995), zeigen Frauen im Vergleich zu Männern häufig bessere Leistungen in vielen Aspekten verbaler Fertigkeiten (Halpern, 1986; Kimura, 1992; McGlone, 1980), wohingegen sich bei Männern durchschnittlich bessere räumliche Fähigkeiten beobachten lassen (Halpern, 1996; Hyde, 1981; Kimura, 1992; McGee, 1979; Voyer et al., 1995; Witkin et al., 1966). Weitere Differenzen zwischen den Geschlechtern, insbesondere in kognitiven Aufgaben, die räumliche Fähigkeiten messen, sind beschrieben worden (Halpern, 1996; Hyde, 1981; Voyer et al., 1995).

Sowie beim Purdue-Pegboard-Test als auch beim Paper-Test konnten keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern festgestellt werden. Auch bei dem Jeannerod-Test zeigen die Probanden keinen signifikanten Unterschied in den räumlichen Leistungen zwischen den Geschlechtern. Wie schon oben erwähnt, könnte dies mit der Ausbildung als Medizinstudent zusammenhängen. In den Ergebnissen weisen Männer bei der Hinbewegung eine kürzere Bewegungsdauer, eine höhere Geschwindigkeit und eine größere Fingeröffnung auf. Die höhere Geschwindigkeit könnte mit der etwas längeren Armlänge der Männer zu tun haben, also biomechanischen Ursprungs sein, da bei gleichen Gelenkwinkeländerungen die Bewegung längerer Gliedmaßen zu einer höheren Geschwindigkeit der Hand führt. Zumal Frauen früher abbremsen als Männer, deutet dies auf eine vorsichtigeren Bewegungsstrategie der Frauen hin. Sie

neigen außerdem dazu, eine flachere Bewegungsbahn des Handgelenks auszuführen. Auch in der Reaktionszeit zeigt sich eine geringe Differenz zwischen den Geschlechtern; Frauen haben eine schnellere Reaktion. Dahingegen ergibt sich bei der Rückbewegung kein signifikanter Geschlechtsunterschied. Es gibt aber Tendenzen, und zwar brauchen Männer in der Rückzugszeit länger als Frauen, haben aber eine höhere Maximalgeschwindigkeit. Auch weisen sie kürzere Einfügzeiten und damit verbunden auch kürzere Suchwege vor.

Hampson und Kimura (1988) und Hampson (1990 a, b) haben entdeckt, dass während der luteinisierenden Phase des Menstruationszyklus, d.h., in der Phase, in der der Östrogen- und Progesteronspiegel relativ hoch ist, die Ausführung von komplexen motorischen Aufgaben in der Genauigkeit gesteigert ist. Während der späten Follikelphase ist der Östrogenspiegel ebenfalls recht hoch, der Progesteronspiegel aber eher niedrig. Zu diesem Zeitpunkt zeigen Frauen erhöhte Bewegungsgeschwindigkeiten und verbesserte Koordination. Hampson & Kimura (1992) gehen davon aus, dass Frauen den Männern in einigen feinmotorischen Tätigkeiten und ihrem Sprachfluss überlegen sind, und zwar aufgrund des wesentlich höheren Östrogenspiegels. Die Frauen in meiner Versuchsreihe zeigten keine Überlegenheit im Sprachtest gegenüber den Männern. Dieses Ergebnis könnte mit der Probandenauswahl zusammenhängen, wobei ich bei den Probandinnen den Östrogenspiegel nicht überprüft habe. Die Ergebnisse von Hampson & Kimura gelten nur bei einem normalen Zyklus, während die Pille einen erheblichen Einfluss auf den Hormonhaushalt hat. Östrogen wirkt auf dopaminerge Funktionen, sowohl bei Tieren als auch bei Menschen, jedoch ist die direkte Beziehung zwischen Östrogen und Dopamin relativ komplex und noch nicht vollständig geklärt (van Hartesveldt & Joyce, 1986).

Darüber hinaus sind die verschiedenen Fähigkeiten lateralisiert, d.h. bestimmte Funktionen können stärker einer Hemisphäre zugeordnet werden. Die linke Hemisphäre zeigt eine Überlegenheit bei verbalen Fertigkeiten (Beaumont, 1982), der eine rechtshemisphärische Dominanz für räumliche

Funktionen gegenübersteht (Kimura, 1966). Aus diesem Grund ist es wahrscheinlich, dass die Geschlechtsunterschiede, insbesondere in den verbalen und räumlichen Fähigkeiten, auf einen Unterschied in der cerebralen Organisation, bzw. auf einen Unterschied in der cerebralen Asymmetrie für Sprache und räumliche Kognitionen zurückgeführt werden können. Tatsächlich berichtet eine Vielzahl von Untersuchungen von Geschlechtsunterschieden in der funktionellen cerebralen Asymmetrie. Diese Aussagen müssen bei der vorliegenden Studie in Frage gestellt werden, da die Ergebnisse keinen Hinweis auf einen Unterschied in verbalen und räumlichen Fähigkeiten zwischen Frauen und Männern aufweisen. Es handelt sich maximal um leichte Tendenzen.

Geht man von einer dynamisch funktionellen cerebralen Organisation aus, die durch kontinuierliche Fluktuationen in den Konzentrationen gonadaler Steroidhormone (z.B. Östrogen) moduliert wird, variieren die cerebralen Asymmetrien, die Funktionsunterschiede zwischen der rechten und der linken Hirnhälfte (verbal, visuell-räumlich), bei Frauen über die verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus (Hampson, 1990 a, b; Mead & Hampson, 1996). Deshalb ist es nicht weiter verwunderlich, dass die weiblichen Daten im Mittel weniger starke Asymmetrien in der Lateralisation aufweisen. Tatsächlich zeigen die Lateralisationsmuster innerhalb der weiblichen Gruppe starke interindividuelle Variationen (McGlone, 1977). Der Grund für diese starken Variationen liegt vermutlich in der Tatsache, dass sich die Frauen während der Durchführung solcher Untersuchungen in unterschiedlichen Phasen ihres Menstruationszyklus befanden. Güntürkün et al. (2003) haben herausgefunden, dass eine Reduktion der weiblichen Sexualhormone sowohl zu einer Leistungssteigerung bei der mentalen Rotation als auch zu einer asymmetrischen Hirnorganisation führt (Hausmann et al., 2002).

Eine Veränderung des Östrogenspiegels und damit verbunden eine Veränderung in den dopaminergen Funktionen hat komplexe Auswirkungen im motorischen Verhalten (Jennings & Janowsky, 1998). In ihrer Studie konnten sie in bezug auf Geschlechtsdifferenzen keinen Unterschied in der Präzision der

Ausführung finden. Sie haben dagegen festgestellt, dass bei Frauen der Östrogenspiegel zwar mit der Bewegungszeit korreliert, nicht aber mit der Reaktionszeit. Die Ergebnisse kognitiver Tests können vom Testosteronspiegel abhängig sein. Frauen mit hoher Konzentration dieses Hormons lösen Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen besser als Frauen mit niedriger; bei Männern - die insgesamt einen höheren Testosteronspiegel aufweisen - ist es umgekehrt. Bei einem Test zu mathematischen Schlussfolgerungen korrespondiert bei Männern ein niedriger Testosteronspiegel mit besseren Leistungen; bei Frauen gibt es keinen derartigen Zusammenhang (Kimura, 1992). Des Weiteren hat Kimura (1992) bei Männern jahreszeitliche Schwankungen der raumbezogenen Fähigkeiten beobachtet. Ihre Leistungen sind im Frühjahr, wenn der Testosteronspiegel niedriger ist, besser als im Herbst (Kimura, 2002).

Funktionelle cerebrale Asymmetrien der Sprache (Bryden, 1979; Franzon & Hughdahl, 1986; Shaywitz et al., 1995), der räumlichen Orientierung (Chiarello et al., 1989; Corballis & Sidey, 1993; Waber, 1982; Witelson, 1976) oder der Gesichtererkennung sind geschlechtsabhängig. Die Links-Rechts-Unterschiede scheinen bei den Frauen, im Gegensatz zu den Männern, sehr viel schwächer ausgeprägt zu sein, was auf eine symmetrischere funktionelle cerebrale Organisation hinweist (Corballis & Sidey, 1993; Halpern, 1986, 1996; Hough et al., 1994; Inglis & Lawson, 1981; Inglis et al., 1982; Juarez & Corsi-Cabrera, 1995; McGlone, 1980). Diese Aussage kann ich mit meinen Probandenkollektiv bezüglich der Händigkeit nicht bestätigen. Beim Paper-Test zeigt sich absolut kein Lateralisationsunterschied zwischen Frauen und Männern. Dagegen ergibt sich beim Purdue-Pegboard, dass die Männer meiner Untersuchungsreihe sogar schwächer lateralisiert sind. Voyer (1996) kommt aufgrund seiner Metaanalyse zu dem Schluss, dass es Unterschiede in der Lateralisation zwischen Männern und Frauen gibt, da die Untersuchungen, die diesen Effekt aufweisen, fast ausschließlich das gleiche Muster zeigen - eine größere Lateralisation bei Männern, der eine stärker symmetrische funktionelle cerebrale Organisation bei Frauen gegenübersteht. Nur sehr selten weist eine Untersuchung auf einen Geschlechtsunterschied in

Richtung einer stärkeren Lateralisation bei Frauen hin (Springer & Deutsch, 1998).

Diese Studie liefert eine Basis von physiologischen Vergleichsdaten, welche herangezogen werden kann, um Handfunktionsstörungen mit der Methode der Bewegungsvermessung objektiv zu beurteilen. Obwohl somit die Methode bereits erfolgreich in der klinischen Forschung verwendet wird, fehlt bislang ein systematischer Vergleich der Ziel- und Greifbewegungen der dominanten und non-dominanten Hand. Ebenso fehlen systematische Vergleiche zwischen Frauen und Männern. Die vorliegende Arbeit soll diese Lücken schließen.

Viele der Einzelaspekte gab es schon in früheren Arbeiten, aber dies ist die erste Studie, in der alle Einzelaspekte systematisch in einer Stichprobe zusammengefasst sind. Die gesamte Arbeit umfasst einen großen Kontext. Eine besondere Widmung bekam die Fragestellung, in wieweit das Geschlecht einen Einfluss auf die Ziel- und Greifbewegungen hat. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die geschlechtsbezogenen Ergebnisse alle in dieselbe Richtung zeigen, nämlich, dass es keinen Unterschied bei der Handleistung bei den Ziel- und Greifbewegungen zwischen Frauen und Männern gibt. Diese Ergebnisse spiegeln sich auch in allen Korrelaten von Lateralität wider; hoher Androgynitäts-Anteil bei den Studierenden im BSRI-Test, keine Unterschiede beim Wortflüssigkeits-Test sowie beim Schlauchfiguren-Test.

Mit der Zusammenfassung der vielen Einzelaspekte könnte man auch noch weitere Parameter berücksichtigen, z.B. die Objektgröße. Interessanterweise ist ein Händigkeitunterschied bei dem Purdue-Pegboard-Test herausgekommen, während sich bei der Griffanalyse kaum ein Unterschied zeigt. Man könnte somit den Test nach Jeannerod in einer Weise verändern, dass er dem Purdue-Pegboard-Test bezüglich der Objektgröße ähnlicher wird, damit auch hier eventuell ein Händigkeitunterschied sichtbar wird. Ein ganz anderer Ansatz für eine weitere Arbeit wäre die lokale Inaktivierung des ventralen prämotorischen Kortex mit der repetitiven transkraniellen Magnetstimulation. Dieses Kortexareal soll eventuell Auswirkungen auf die Entstehung des

Griffbildes sowohl der ipsi- als auch der kontralateralen Hand haben (vgl. Fogassi et al., 2001). Eine weitere Möglichkeit für die Fortsetzung der Arbeit wäre, Patienten zu finden, die Läsionen an dieser Stelle haben.





## 5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden zielgerichtete Greifbewegungen der dominanten und non-dominanten Hand von Rechtshändern mit Hilfe einer optoelektronischen Bewegungsanalyse unter verschiedenen Bedingungen vermessen und miteinander verglichen. Zirka 90% der Menschen sind Rechtshänder, wobei die dominante Hand üblicherweise auch eine bessere Leistung als die Linke zeigt. Diese Lateralisation geht neuronal auf die funktionelle und morphologische Asymmetrie der Hirnhälften zurück. Durch ein koordiniertes Zusammenspiel von einer Reichbewegung und einer gleichzeitigen Greifbewegung entsteht das gezielte Greifen.

Die Probanden dieser Studie waren zehn weibliche und zehn männliche Studenten im Alter von 20-30 Jahren. Die nach eigener Aussage angenommene Rechtshändigkeit wurde mit einem Fragebogen überprüft und bestätigt. Als weitere Korrelate wurden der Purdue-Pegboard-Test, der Paper-Test, der Schlauchfiguren-Test und der Wortflüssigkeits-Test durchgeführt. Außerdem gab es noch einen Fragebogen zur Geschlechtsidentifikation. Der eigentliche Versuch, mit einer modifizierten Messmethode von Jeannerod, folgte im Anschluss. Hier wurden die Ziel- und Greifbewegungen der Hände mit einem optoelektronischen Bewegungsanalysesystem, das unter anderem mit drei Infrarotkameras arbeitet, vermessen. Um die Handbewegungen der Probanden mit den Kameras aufnehmen zu können, wurden reflektierende Marker an Daumen, Zeigefinger und Handgelenk befestigt. Als Greifobjekt diente ein aufrechtstehender Kunststoffzylinder. Dieser stand in einem definierten Abstand von der Ausgangsposition der Hand und wurde nach einem Startsignal ergriffen und in eine Zielposition gebracht. Es wurden verschiedene Parameter in Bezug auf Händigkeit, Geschwindigkeit, Raumbeleuchtung und Geschlecht untersucht.

Bislang wurde die Interaktion zwischen Geschlecht und Handgebrauch kaum untersucht, da in früheren Studien, welche Geschlechtsunterschiede als Variable zwischen Probanden und als möglichen Leistungsfaktor beinhalteten, nur mit der bevorzugten Hand der Teilnehmer gearbeitet wurde. Die wenigen restlichen Studien, die sowohl Handgebrauch, als auch Geschlecht im Design enthielten, waren in Bezug auf das Alter der Teilnehmer sehr heterogen oder kombinierten rechts- und linkshändige Probanden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Lateralität zeigen, dass es einen starken Händigkeitunterschied beim Purdue-Pegboard und beim Paper-Test gibt. Dagegen zeigen sich kaum Geschlechtsunterschiede bei den Händigkeitstests, dem Wortflüssigkeits-Test und dem Schlauchfiguren-Test. Es zeigte sich ein hoher Anteil an androgynen Probanden nach dem BSRI.

Die Befunde der Bewegungsanalyse zeigen, dass die Geschwindigkeit einen großen Einfluss auf das Greifen der Hände hat. Je schneller man greift, desto größer ist die Fingeröffnung. Auch bei der Rückbewegung zeigt sich der Einfluss, wenn auch nicht so stark. Im Vergleich der dominanten und non-dominanten Hand sind kaum intermanuelle Differenzen festzustellen. Die dominante Hand tendiert zu höherer Bewegungsgeschwindigkeit und größerer Fingeröffnung, sowie zu kürzeren Suchwegen beim Einfügen des Objekts in die Zielposition. Die Raumbelichtung zeigt einen großen Effekt bei Ziel- und Greifbewegungen. Ohne visuelles Feedback werden die Finger weiter geöffnet und die Bewegungsdauer verlängert sich, sowohl bei der Hin- als auch bei der Rückbewegung. Zu den Geschlechterdifferenzen lässt sich sagen, dass Frauen schneller reagieren, sich aber vorsichtiger, d.h., langsamer, dem Objekt nähern, während Männer schnell und mit großer Grifföffnung zugreifen. In den restlichen Parametern zeigen sich keine Geschlechtsunterschiede.

## 6. Summary

In this study purposeful reach-to-grasp movements of the dominant and the non dominant hand of right-handers were measured with the help of an opto-electronic movement analysis. Both hands were compared under different conditions. Approximately 90% of humans are right-handers, and usually they achieve better results with their dominant than with their left hands. This lateralization is neurally ascribed to the functional and morphological asymmetry of the brain halves. Targeted grasping results from a co-ordinated interaction of a reach movement and a simultaneous grasp movement.

The subjects of this study were ten female and ten male students in the age of 20-30 years. Their reported right-handedness was assessed and confirmed with a questionnaire. Furthermore, other aspects of lateralization were examined using the Purdue-Pegboard-test, the paper-test, the tube-figure-test and the word-fluency-test. In addition gender identification of the participants was determined using the BEM-questionnaire. The pivotal test of the grasping movements was performed using a modification of the measuring method of Jeannerod. The reach-to-grasp movements of each hand were measured with an opto-electronic movement analysis system, which includes three infrared cameras. To record the hand movements of the subjects with the cameras, reflecting markers were fastened to thumbs, index fingers and wrists. A plastic cylinder standing in an upright position served as grasp object. It was put in a defined distance from the starting position of the hand, was seized after a starting signal, and brought into the target position in a return movement. This complex movement was analysed with respect to accuracy, speed, room lighting, handedness and sex.

As yet the influence of sex on hand use has hardly been examined. In earlier studies, which considered possible differences between females and males

of grasping achievement, only the dominant hand of the participants had been assessed. The few remaining studies, which took into consideration both, hand use and sex, were either very heterogeneous with respect to the age of the participants or did not separate right and left-handed subjects. My investigation of handedness with the Purdue-Pegboard and with the paper-test showed that there is a strong lateralization irrespective of gender. However, these tests hardly showed any sex differences. Also the word-fluency-test and the tube-figure-test did only reveal minor differences between females and males. In accordance with this lack of sex differences a surprisingly high proportion of subjects turned out to be androgynous according to the BSRI.

The results of the movement analyses show that the speed has a large influence on targeted grasping. The faster the reach-to-grasp movement, the wider becomes the finger opening. Also during the return movement the influence of speed shows up, however, less pronounced. When comparing the dominant with the non-dominant hand, hardly any differences could be found. The dominant hand tends to a higher speed of motion, a larger finger opening, and shorter search path when inserting the object into the target position. The room lighting had a strong effect on reach-to-grasp movements. Without visual feedback the fingers are opened wider and the duration of movement is prolonged, both during the forward and the return motion. With respect to sex differences, it can be said that women react faster, however they approach the object more carefully, thus more slowly. Men, on the other hand, access fast and with large grasp opening. The remaining parameters of movement did, however, not reveal further differences between females and males.

## 7. Literatur

- ABOITIZ, F., SCHEIBEL, A.B., FISHER, R.S. & ZAIDEL, E. (1992a):  
Fiber composition of the human Corpus callosum. *Brain Research* **598**, S. 143-153
- ABOITIZ, F., SCHEIBEL, A.B. & ZAIDEL, E. (1992b):  
Morphometry of the Sylvian fissure and the Corpus callosum, with emphasis on sex differences. *Brain* **115**, S. 1521-1541
- AMUNTS, K., JÄNCKE, L., MOHLBERG, H., STEINMETZ, H. & ZILLES, K. (2000):  
Interhemispheric asymmetry of the human motor cortex related to handedness and gender. *Neuropsychology* **38**, S. 304-312
- ANNETT, M. (1970):  
A classification of preference by association analysis. *British Journal of Psychology* **61** (3), S. 303-321
- ANNETT, M. (1992):  
Five test of hand skill. *Cortex* **28**, S. 583-600
- ANNETT, M., HUDSON, P.T. & TURNER, A. (1974):  
The reliability of differences between the hands in motor skills. *Neuropsychologia* **12** (4), S. 527-531
- ASCHERMANN, E. & SCHULZ, A.-P. (1997):  
Geschlecht, Geschlechtsrollenorientierung und Lebensplanung. *Sexuologie* **4**, S. 27-44
- ASIKAINEN, I., NYBO, T., MULLER, K., SARNA, S. & KASTE, M. (1999):  
Speed performance and long-term functional and vocational outcome in a group of young patients with moderate or severe traumatic brain injury. *European Journal of Neurology* **6**, S. 179-185
- BEAUMONT, J.G. (1982):  
Studies with verbal stimuli. In J.G. Beaumont (Ed.), *Divided visual field studies of cerebral organisation*. London: Academic Press, S. 58-86
- BEM, S.L. (1974):  
The measurement of psychological androgyny. *Journal of Consulting and Clinical Psychology* **42**, S. 155-162
- BERTOLINI, R., LEUTERT, G., ROTHER, P., SCHEUNER, G. & WENDLER, D. (1982):  
*Systematische Anatomie des Menschen*. VEB Verlag Volk und Gesundheit Berlin

- BISHOP, K.M. & WAHLSTEN, D. (1997):  
Sex differences in the human Corpus callosum. Myth or reality?  
*Neuroscience and Biobehavioral Reviews* **21**, S. 581-601
- BORTZ, J. (1993):  
Statistik für Sozialwissenschaftler (4<sup>rd</sup> ed.). Berlin, Heidelberg:  
Springer-Verlag
- BROCA, P. (1861):  
Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies  
d'une observation d'aphémie. *Bulletin Social Anatomie Paris* **6**, S.  
698-407
- BRYDEN, M. (1979):  
Evidence for sex differences in cerebral organisation. In M. Wittig, A.  
Peterson (Ed.), *Determinants of sex related differences in cognitive  
functioning*. New York: Academic Press, S. 121-143
- CHAO, E.Y.S., AN, K.-N., COONEY, W.P. & LINSCHIED, R.L. (1989):  
*Biomechanics of the hand*. Singapore: World Scientific
- CHIARELLO, C., MCMAHON, M.A. & SCHAEFER, K. (1989):  
Visual cerebral lateralization over phases of the menstrual cycle: a  
preliminary investigation. *Brain and Cognition* **11** (1), S. 18-36
- CHIEFFI, S. & GENTILUCCI, M. (1993):  
Coordination between the transport and the grasp components during  
prehension movements. *Experimental Brain Research* **94** (3), S. 471-477
- CHRISTEL, M.I. (1993):  
Greiftechniken und Handpräferenzen verschiedener catarrhiner  
Primaten beim Aufnehmen kleiner Objekte, Inaugural Dissertation,  
Freie Universität Berlin
- CHRISTEL, M.I. (1994):  
Catarrhine primates grasping small objects – techniques and hand  
preferences. in Anderson, J.R., Roeder, J.J., Thierry, B. and  
Herrenschmidt, N.(eds.), *Current Primatology, Vol. III. Behavioural  
Neurosciences of Physiologie and Reproduction*, Université L.  
Pasteur, Strasbourg, S. 37-50
- CHRISTEL, M.I., WEISS, P. & BAVAR, S. (1998):  
How precisely do non-humans primates grasp small objects? A  
comparison of performances and between hand differences with  
humans. *Folia Primatology* **69** (4), S. 206

- CHRISTEL, M.I. & FRAGASZY, D. (2000):  
Manual function in *Cebus apella*. Digital mobility, preshaping, and endurance in repetitive grasping. *International Journal of Primatology* **21** (4), 25 Seiten
- CHRISTIANSEN, K. (1992):  
Psychologische Test- und Explorationsmethoden. In: *Anthropologie*, Band I, Teil 2. Hrsg: Rainer Knußmann. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, S. 205-272
- CLARKE, J.M. & ZAIDEL, E. (1994):  
Anatomical-behavioral relationships: Corpus callosum morphometry and hemispheric specialization. *Behavioral Brain Research* **64**, S. 185-202
- COLLINS, D. W. & KIMURA D. (1997):  
A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behavioral Neuroscience* **111** (4), S. 845-849
- CONSTANT, D. & RUTHER, H. (1996):  
Sexual dimorphism in the human Corpus callosum? A comparison of methodologies. *Brain Research* **727**, S. 99-106
- CORBALLIS, M.C. (1997):  
The genetics and evolution of handedness. *Psychological review* **104** (4), S. 714-727
- CORBALLIS, M.C. & SIDEY, S. (1993):  
Effects of concurrent memory load on visual-field differences in mental rotation. *Neuropsychologia* **31** (2), S. 183-197
- DAX, M. (1865):  
Lésions de la moitié gauche de l'encéphale coïncident avec l'oubli des signes de la pensée (lu à Montpellier en 1836), *Bulletin hebdomadaire de médecine et de chirurgie*, 2e série **2**, S. 259-262.
- DE COURTEN-MEYERS, G.M. (1999):  
The human cerebral cortex: gender differences in structure and function. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology* **58**, S. 217-226
- DE LACOSTE-UTAMSING, C. & HOLLOWAY, R.L. (1982):  
Sexual dimorphism in the human Corpus callosum. *Science* **216**, S. 1431-1432
- DE LACOSTE, M.C., KIRKPATRICK, J.B. & ROSS, E.D. (1985):  
Topography of the human Corpus callosum. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology* **44**, S. 578-591

- DENENBERG, V.H. (1981):  
Hemispheric laterality in animals and the effects of early experience. *The Behavioral and Brain Sciences* **4**, S. 1-37
- DEUSCHL, G., WENZELBURGER, R., LÖFFLER, K., RAETHJEN, J. & STOLZE, H. (2000):  
Essential tremor and cerebellar dysfunction. Clinical and kinematic analysis of intention tremor. *Brain* **123**, S. 1568-1580
- DRIESEN, N.R. & RAZ, N. (1995):  
The influence of sex, age and handedness on the Corpus callosum morphology: a meta analysis. *Psychobiology* **23**, S. 240-247
- EHRSSON, H.H., FAGERGREN, A., JONSSON, T., WESTLING, G., JOHANSSON, R. S. & FORSSBERG, H. (2000):  
Cortical activity in precision- versus power-grip tasks: an fMRI study. *Journal of Neurophysiology* **83**, S. 528-536
- EIDELBERG, D. & GALABURDA, M. A. (1982):  
Symmetry and asymmetry in human posterior thalamus. *Archives of Neurology* **39**, S. 325-332
- ELLIOTT, J.M. & CONNOLLY, K.J. (1984):  
A classification of manipulative hand movements. *Developmental Medicine and Child Neurology* **26**, S. 283-296
- FISK, J.D. & GOODALE, M.A. (1989):  
The Effects of Instructions to Subjects on the Programming of Visually Directed Reaching Movements. *Journal of Motor Behavior* **21** (1), S. 5-19
- FITTS, P.M. (1954):  
The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology* **47** (6), S. 381-391.
- FITTS, P.M. & CRANNELL, C. (1950):  
Location discrimination. II. Accuracy of reaching movements to twenty-four different areas. USAF Air Material Command Tech. Rep. 5833
- FOGASSI, L., GALLESE, V., BUCCINO, G., CRAIGHERO, L., FADIGA, L. & RIZZOLATTI, G. (2001):  
Cortical mechanism for the visual guidance of hand grasping movements in the monkey. *Brain* **124**, S. 571-586
- FRANZON, M. & HUGDAHL K. (1986):  
Visual half-field presentations of incongruent color words: effects of gender and handedness. *Cortex* **22** (3) S. 433-445



- FLEISHMAN, E.A. (1967):  
Development of a behavior taxonomy for describing human tasks: A correlational-experimental approach. *Journal of Applied Psychology* **51**, S. 1-10
- FLEISHMAN, E.A. (1972):  
On the relation between abilities, learning, and human performance. *American Psychologist* **27**, S. 1017-1032
- FLOWERS, K. (1975):  
Handedness and controlled movement. *British Journal of Psychology* **66**, S. 39-52
- FORSSBERG, H., ELIASSON, A.C., KINOSHITA, H., JOHANSSON, R.S. & WESTLING, G. (1991):  
Development of human precision grip I: Basic coordination of force. *Experimental Brain Research* **85** (2), S. 451-457
- FORSSBERG, H., KINOSHITA, H., ELIASSON, A.C., JOHANSSON, R.S., WESTLING, G. & GORDON, A.M. (1992):  
Development of human precision grip II: Anticipatory control of isometric forces targeted for object's weight. *Experimental Brain Research* **90** (2), S. 393-398
- FOUNDAS, A.L., FAULHABER, J.R., KULYNYCH, J.J., BROWNING, C.A. & WEINBERGER, D.R. (1999):  
Hemispheric and sex-linked differences in Sylvian fissure morphology: a quantitative approach using volumetric magnetic resonance imaging. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavioral Neurology: a journal of clinic* **12**, S. 1-10
- GESCHWIND, N. & LEVITSKY, W. (1968):  
Left-right asymmetries in temporal speech regions, *Science* **161**, S. 186-187
- GESCHWIND, N. & GALABURDA, A.M. (1987):  
Cerebral lateralization: biological mechanisms, associations, and pathology. Cambridge MA: MIT Press
- GINN, S. R. & STIEHL S. (1999):  
Effects of sex, gender schema, and gender-related activities on mental rotation. *Perceptual & Motor Skills* **88** (1), S. 342-350
- GOUCHIE, C. & KIMURA, D. (1991) :  
The relationship between testosterone levels and cognitive ability patterns. *Psychoneuroendocrinology* **16** (4), S. 323-334

- GROSSKOPF, A. (2000):  
Synchronisation bimanueller Reich- und Greifbewegungen von Menschen am „Peg-Board“; Unter Berücksichtigung der Asymmetrie der Bewegungen und der Geschlechterdifferenzen, Diplomarbeit, FU Berlin
- GÜNTÜRKÜN, O., HAUSMANN, M. & TEGENTHOFF, M. (2003):  
„Der kleine Unterschied“ im menschlichen Gehirn. *Neurorubin*, S. 5-8
- GUR, R.C., PACKER, I.K., HUNGERBUHLER, J.P., REIVICH, M., OBRIST, W.D., AMARNEK, W.S. & SACKHEIM, H. (1980):  
Differences in distribution of grey and white matter in human cerebral hemispheres. *Science* **207**, S. 1226-1228
- HALPERN, D.F. (1986):  
Sex differences in cognitive abilities. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates
- HALPERN, D.F. (1996):  
Sex, brains, hands and spatial cognition. *Developmental Review* **16**, S. 261-270
- HAMMOND, G., FAULKNER, D., BYRNES, M., MASTAGLIA, F. & THICKBROOM, G. (2004):  
Transcranial magnetic stimulation reveals asymmetrical efficacy of intracortical circuits in primary motor cortex. *Experimental Brain Research* **155** (1), S. 19-23
- HAMPSON, E. (1990a):  
Variations in sex related cognitive abilities across the menstrual cycle. *Brain and Cognition* **14**, S. 26-43
- HAMPSON, E. (1990b):  
Estrogen-related variations in human spatial and articulatory-motorskills. *Psychoneuroendocrinology* **15**, S. 97-111
- HAMPSON, E. & KIMURA, D. (1988):  
Reciprocal effects of hormonal fluctuations on human motor and perceptual-spatial skills. *Behavioral Neuroscience* **102** (3), S. 456-459
- HAMPSON, E. & KIMURA, D. (1992):  
Sex differences and hormonal influences on cognitive function in humans. In Becker, J.B., Breedlove, S.M., Crews, D. (eds.). *Behavioral Endocrinology*. Cambridge, Mass.: MIT Press
- HARRIS, L.J. (1978):  
Sex differences in spatial ability: possible environmental, genetic, and neurological factors. In Kinsbourne, M. (Hg.): *Asymmetrical function of the brain*. New York

- HARTESVELDT VAN, C. & JOYCE, J.N. (1986):  
Effects of estrogen on the basal ganglia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* **10** (1), S. 1-14
- HAUSMANN, M., BECKER, C., GATHER, U. & GÜNTÜRKÜN, O. (2002).  
Functional cerebral asymmetries during the menstrual cycle: a cross-sectional and longitudinal analysis. *Neuropsychologia* **40**, S. 808-816
- HEPP-REYMOND, M.-C., HUESLER, E.J. & MAIER, M.A. (1996):  
Precision grip in humans. Temporal and spatial synergies. In Wing, A.M., Haggard, P. & Flanagan, J.R.: *Hand & Brain*. Academic Press. San Diego
- HOFSTEN VON, C. (1979):  
Development of visually directed reaching: The approach phase. *Journal of Human Movement Studies* **5**, S. 160-178
- HOFSTEN VON, C. (1984):  
Developmental changes in the organization of prereaching movements. *Developmental Psychology* **20**, S. 378-388
- HOLLERBACH, J.M. & FLASH, T. (1982):  
Dynamic interactions between limb segments during planar arm movement. *Biological Cybernetics* **44**, S. 67-77
- HOLLOWAY, R.L., ANDERSON, P.J., DEFENDINI, R. & HARPER, C. (1993):  
Sexual dimorphism of the human Corpus callosum from three independent samples: relative size of the Corpus callosum. *American Journal of Physical Anthropology* **92**, S. 481-498
- HOPPE, B. (2003):  
Restitution sensomotorischer Funktionen nach Schädel-Hirn-Trauma bei Kindern. Inaugural Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- HOPPER, K.D., PATEL, S., CANN, T.S., WILCOX, T. & SCHAEFFER, J.M. (1994):  
The relationship of age, gender, handedness and sidedness to the size of the Corpus callosum. *Academic Radiology* **1**, S. 243-248
- HORN, W. (1983):  
Leistungsprüfsystem (LPS). Hogrefe Verlag. Göttingen
- HOUGH, M.S., DANIEL, H.J., SNOW, M.A., O'BRIEN, K.F. & HUME, W.G. (1994):  
Gender differences in laterality patterns of speaking and singing. *Neuropsychologia* **32**, S. 1067-1078
- HYDE, J.S. (1981):  
How large are cognitive gender differences ? *American Psychologist* **36**, S. 892-901

- IDE, A., RODRIGUEZ, E., ZAIDEL, E. & ABOITIZ, F. (1996):  
Bifurcation patterns in the human sylvian fissure: hemispheric and sex differences. *Cerebral Cortex* **6**, S. 717-725
- INGLIS, J. & LAWSON, J.S. (1981):  
Sex differences in the effects of unilateral brain damage on intelligence. *Science* **212** (4495), S. 693-695
- INGLIS, J., RUCKMAN, M., LAWSON, J.S., MACLEAN, A.W. & MONGA, T.N. (1982):  
Sex differences in the cognitive effects of unilateral brain damage. *Cortex* **18** (2), S. 257-275
- JAKOBSON, L.S. & GOODALE, M.A. (1991):  
Factors affecting higher-order movement planning: a kinematic analysis of human prehension. *Experimental Brain Research* **86**, S. 199-208
- JÄNCKE, L., STAIGER, J.F., SCHLAUG, G., HUANG, Y. & STEINMETZ, H. (1997):  
The relationship between Corpus callosum size and forebrain volume. *Cerebral Cortex* **7**, S. 48-56
- JEANNEROD, M. (1981):  
Intersegmental coordination during reaching at natural visual objects. In: Long, J. and Baddeley, A. (eds.), *Attention and performance IX*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, S. 153-168
- JEANNEROD, M. (1984):  
The timing of natural prehension movements. *Journal of Motor Behaviour* **16** (3), S. 235-254
- JEANNEROD, M. (1993):  
Kognition (Reichen und Greifen). Sonderdruck aus *Enzyklopädie der Psychologie-Psychomotorik*. Hogrefe Verlag für Psychologie S. 509-574
- JEANNEROD, M., ARBIB, M.A., RIZZOLATTI, G. & SAKATA, H. (1995):  
Grasping objects: the cortical mechanism of visuomotor transformation. *Trends in Neuroscience* **18**, S. 314-320
- JENNINGS, P.J. & JANOWSKY, J.S. (1998):  
Estrogen and sequential movement. *Behavioral Neuroscience* **112** (1), S. 154-159
- JOHNSON, E.S. & MEADE, A.C. (1987):  
Developmental patterns of spatial ability: an early sex difference. *Children Developmental* **58** (3), S. 725-740
- JONES, B. & ANUZA, T. (1982):  
Effects of sex, handedness, stimulus and visual field on "mental rotation". *Cortex* **18** (4), S. 501-514

- JUAREZ, J. & CORSI-CABRERA, M. (1995):  
Sex differences in interhemispheric correlation and spectral power of EEG activity. *Brain Research Bulletin* **38** (2), S. 149-151
- KALASKA, J. F., & CRAMMOND, D. J. (1992):  
Cerebral cortical mechanisms of reaching movements. *Science* **255**, S. 1517-1523
- KANDEL, E.R., SCHWARTZ, J.H. & JESSELL, T.M. (Hrsg.) (1996):  
Neurowissenschaften, Einführung, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford
- KIMURA, D. (1966):  
Dual functional asymmetry of the brain in visual perception. *Neuropsychologia* **4**, S. 275-285
- KIMURA, D. (1973):  
Manual activity during speaking. I. Right-handers, II. left-handers. *Neuropsychologia* **1**, S. 45-55
- KIMURA, D. (1992):  
Weibliches und männliches Gehirn. *Spektrum der Wissenschaft* **11** S. 104-117 (unwesentlich gekürzt und verändert von Rudolf Öller 2001)
- KIMURA, D. (2002):  
Sex hormones Influence Human Cognitive Pattern. *Neuroendocrinology Letters* **23** (4), S. 67-77
- KOLB, B. & WHISHAW J. Q. (1996):  
Neuropsychologie. Spektrum Akademischer Verlag Oxford, Heidelberg
- KONGZAK, J., BORUTTA, M. & DICHGANS, J. (1997):  
The development of goal-directed reaching in infants. II. Learning to produce task-adequate patterns of joint torque. *Experimental Brain Research* **113**, S. 465-474
- KONGZAK, J. & DICHGANS, J. (1997):  
The development toward stereotypic arm kinematics during reaching in the first 3 years of life. *Experimental Brain Research* **117**, S. 346-354
- KUHTZ-BUSCHBECK, J.P., STOLZE, H., JÖHNK, K., BOCZEK-FUNCKE, A. & ILLERT, M. (1998a):  
Development of prehension movements in children: a kinematic study. *Experimental Brain Research* **122**, S. 424-432
- KUHTZ-BUSCHBECK, J.P., STOLZE, H., BOCZEK-FUNCKE, A., JÖHNK, K., HEINRICHS, H. & ILLERT, M. (1998b):  
Kinematic analysis of prehension movements in children. *Behavioural Brain Research* **93**, S. 131-141

- KULYNYCH, J.J., VLADAR, K., JONES, D.W. & WEINBERGER, D.R.(1994):  
Gender differences in the normal lateralization of the supratemporal cortex: MRI surface-rendering morphometry of heschl gyrus and the planum temporale. *Cerebral Cortex* **4**, S. 107-118
- LANDSELL, H. & DAVIE, J. (1972):  
Massa intermedia: Possible relation to intelligence. *Neuropsychologia* **10**, S. 201-210
- LEDERMAN, S. J. & KLATZKY, R. L. (1990):  
Haptic classification of common objects. *Cognitive Psychology* **22** (4), S. 421-459
- LEMON, R. N. (1993):  
Cortical control of the primate hand. *Experimental Physiology* **78**, S. 263-301
- LEVY, J. & NAGYLAKI, T. (1972):  
A model for the genetics of handedness. *Genetics* **72**, S. 117-128
- LINN, M.C. & PETERSEN, A.C. (1985):  
Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Children Developmental* **56** (6), S. 1479-1498
- MACCOBY, E. & JACKLIN, C. (1974):  
The psychology of sex differences. Stanford, California: Stanford University Press
- MARTENIUK, R.G., MACKENZIE, C.L., JEANNEROD, M., ATHENES, S. & DUGAS, C. (1987):  
Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology* **41** (3) S. 365-378
- MASTERS, M. S. (1998):  
The gender difference on the Mental Rotations Test is not due to performance factors. *Memory & Cognition* **26** (3), S. 444-448
- MATANO, S. & NAKANO, Y. (1998):  
Size comparison of the male and female human corpus callosum from autopsy samples. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* **82** (1), S. 67-73
- MCGEE, M.G. (1979):  
Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin* **86** (5) S. 889-918

- McGEE, M. G. (1980):  
The effect of brain asymmetry on cognitive functions depends on what ability, for which sex, at what point in development. *Behavioral and Brain Sciences* **3**, S. 243-244
- McGLONE, J. (1977):  
Sex differences in the cerebral organization of verbal functions in patients with unilateral brain lesions. *Brain*, **100**, S. 775-793.
- McGLONE, J. (1980):  
Sex differences in human brain asymmetry: A critical survey. *Behavioral and Brain Sciences* **3**, S. 215-263
- McKEEVER, W.F. (1995):  
Hormone and hemisphericity hypotheses regarding cognitive sex differences: Possible future explanatory power, but current empirical chaos. *Learning and Individual Differences* **7**, S. 323-340
- MEAD, L. A., & HAMPSON, E. (1996):  
Asymmetric effects of ovarian hormones on hemispheric activity: Evidence from dichotic and tachistoscopic tests. *Neuropsychology*, **10**, 578-587.
- MOUNTCASTLE, V.B., LYNCH, J.C., GEORGOPOULOS, A.P., SAKATA, H. & ACUNA, C. (1975):  
Posterior parietal association cortex of the monkey: Command functions for operations within extrapersonal space. *Journal of Neurophysiology* **38**, S. 871-908
- MOUNTCASTLE, V.B., MOTTER, B.C. & ANDERSEN, R.A. (1980):  
Some further observations on the functional properties of neurons in the parietal lobe of the waking monkey. *The Behavioral and Brain Sciences* **3**, S. 520-522
- MÜLLER, K. & HÖMBERG, V. (1992):  
Development of speed of repetitive movements in children is determined by structural changes in corticospinal efferents. *Neuroscience Letter* **144**, S. 57-60
- NAPIER, J. R. (1956):  
The prehensile movements of the human hand. *Journal of Bone Joint Surgery American* **38 b**, S. 902-913
- NIEUWENHUY, R., VOOGD, J. & VAN HUIJZEN, C. (1980):  
Das Zentralnervensystem des Menschen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- OLDFIELD, R.C. (1971):  
The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* **9**, S. 97-113

- OKA, S., MIYAMOTO, O., JANJUA, N.A., HONJO-FUJIWARA, N., OHKAWA, M., NAGAO, S., KONDO, H., MINAMI, T., TOYOSHIMA, T. & ITANO, T. (1999): Re-evaluation of sexual dimorphism in human Corpus callosum. *Neuroreport* **10**, S. 937-940
- PAULIGNAN, Y., MCKENZIE, C., MARTENIUK, R. & JEANNEROD, M. (1991): Selective perturbation of visual input during prehension movements I. The effects of changing object size. *Experimental Brain Research* **83**, S. 502-512
- PELLEGRINO, J.W., KLATZKY, R.L. & MCCLOKEY, B.P. (1989): Time course of preshaping for functional responses to objects. *Journal of Motor Behavior* **21**, S. 307-316
- PETERS, M., LAENG, B., LATHAM, K., JACKSON, M., ZAIYOUNA, R. & RICHARDSON, C. (1995): A redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test: different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition* **28**, S. 39-58
- PETERS, M., JÄNCKE, L., STAIGER, J.F., SCHLAUG, G., HUANG, Y. & STEINMETZ, H. (1998): Unsolved problems in comparing brain sizes in homo sapiens. *Brain and Cognition* **37**, S. 254-285
- PINEL, J.P.J. (1997): *Biopsychologie. Eine Einführung*. Spektrum Akademischer Verlag
- PRABLANC, C., ECHALIER, J.F., KOMILIS, E. & JEANNEROD, M. (1979): Optimal response of eye and hand motor systems in pointing at a visual target. I. Spatio-temporal characteristics of eye and hand movements and their relationships when varying the amount of visual informations. *Biological Cybernetics* **35**, S. 113-124
- RICHARDSON, J.T. (1994): Gender differences in mental rotation. *Perceptual and Motor Skills* **78** (2), S. 435-448
- RIZZOLATTI, G., CAMARDA, R., FOGASSI, L., GENTILUCCI, M., LUPPINO, G. & MATELLI, M. (1988): Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey: II. Area F5 and the control of distal movements. *Experimental Brain Research* **71**, S. 491-507
- RIZZOLATTI, G. & LUPPINO, G. (2001): The cortical motor system. *Neuron* **31**, S. 889-901



- ROHEN, J.W. (1975):  
Funktionelle Anatomie des Nervensystems. F.K. Schattauer Verlag,  
Stuttgart
- SAKATA, H., SHIBUTANI, H., KAWONO, K. & HARRINGTON, T.L. (1985):  
Neural mechanisms of space vision in the parietal association Kortex  
of the monkey. *Vision Research* **25**, S. 453-463
- SCHMIDT, R.F., THEWS, G. & LANG, F. (Hrsg.) (2000):  
Physiologie des Menschen. 28. Auflage, Springer Verlag Berlin,  
Heidelberg, New York, S. 105-111
- SCHNEIDER-DÜKER, M. & KOHLER, A. (1988):  
Die Erfassung von Geschlechtsrollen – Ergebnisse zur deutschen  
Neukonstruktion des BSRI. *Diagnostica* **34** (3), S. 256-270
- SEEHAFER, P. (2003):  
Die Überarbeitung der deutschen Fassung des Bem Sex-Role-  
Inventory in Anpassung an den sozialen und gesellschaftlichen  
Wandel. In: Abstractband des 5. Kongress der Gesellschaft für  
Anthropologie.
- SERAGENT, J. (1983):  
Role of the input in visual hemispheric asymmetries. *Psychological  
Bulletin* **93**, S. 481-512
- SHAPLESKE, J., ROSSEL, S.L., WOODRUFF, P.W. & DAVID, A.S. (1999):  
The planum temporale: a systematic, quantitative review of its  
structural, functional and clinical significance. *Brain Research Review*  
**29**, S. 26-49
- SHAYWITZ, B.A., SHAYWITZ, S.E., PUGH, K.R., CONSTABLE, R.T., SKUDLARSKI,  
P., FULBRIGHT, R.K., BRONEN, R.A., FLECHTER, J.M., SHANKWEILER,  
R.A. & KATZ, L. (1995):  
Sex differences in the functional organization of the brain for language.  
*Nature* **373** (6515), S. 607-609
- SPRINGER; S.P. & DEUTSCH, G (1998):  
Linkes – rechtes Gehirn, 4. Auflage, Heidelberg, Spektrum  
Akademischer Verlag
- STEINMETZ, H., JÄNCKE, L., KLEINSCHMIDT, A., SCHLAUG, G., VOLKMANN, J. &  
HUANG, Y. (1992):  
Sex but no hand difference in the isthmus of the Corpus callosum.  
*Neurology* **42**, S. 749-752
- STRIEN VAN, J.W. & BOUMA, A. (1990):  
Mental rotation of laterally presented random shapes in males and  
females. *Brain and Cognition* **12** (2), S. 297-303

- STUMPF, H. & FAY, E. (1983):  
Schlauchfiguren, Ein Test zur Beurteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens, Handanweisung. Verlag für Psychologie, Hogrefe, Göttingen
- STURM, W., HERRMANN, M. & WALLECH, C.-W. (2000):  
Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie - Grundlagen, Methoden, Diagnostik, Therapie. Lisse: Swets & Zeitlinger
- TIFFIN, J. & ASHER, E.J. (1948):  
The Purdue Pegboard: Norms and Studies of Reliability and Validity. *Journal of Applied Psychology* **32**, S. 234-247
- THURSTONE, L.L. (1938):  
Primary Mental Abilities. Chicago: University Press.
- TOYOKURA, M., ISHIDA, A., WATANABE, F., OKADA, N. & YAMAZAKI, M. (2003):  
Intermanual difference in the Japanese Trail Making Test and its mirror version; intra-subject comparison of the task-completion time, cognitive time, and motor time. *Disability and Rehabilitation* **25** (24), S. 1339-1343
- VOYER, D. (1996):  
On the magnitude of laterality effects and sex differences in functional lateralities. *Laterality* **1**, S. 51-83
- VOYER, D. (1997):  
Scoring procedure, performance factors, and magnitude of sex differences in spatial performance. *American Journal of Psychology* **110** (2), S. 259-276
- VOYER, D. & BRYDEN, M.P. (1990):  
Gender, level of spatial ability, and lateralization of mental rotation. *Brain and Cognition* **13** (1), S. 18-29
- VOYER, D., VOYER, S. & BRYDEN, M.P. (1995):  
Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin* **117** (2), S. 250-270
- WABER, D.P. (1976):  
Sex differences in cognition: A function of maturation rate. *Science* **192**, S. 572-573
- WABER, D.P. (1982):  
Maturation: Thoughts on renewing an old acquaintanceship. In D. Caplan (Ed.), *Biological studies of mental processes*. Cambridge: MIT, S. 8-26

- WADA, J.A., CLARKE, R. & HAMM, A. (1975):  
Cerebral asymmetry in humans: Cortical speech zones in 100 adults and 100 infants brains. *Archives of Neurology* **32**, S. 239-246
- WALLACE, E.A. & WEEKS, D.L. (1988):  
Temporal constraints in the control of prehensile movement. *Journal of Motor Behavioral* **20**, S. 81-105
- WALDEYER, A., MAYET, A. (1986):  
*Anatomie des Menschen 2*. De Gruyter Verlag, Berlin, New York. S. 453
- WENZELBURGER, R., TAETHJEN, J., LÖFFLER, K., STOLZE, H., ILLERT, M. & DEUSCHL, G. (2000):  
Kinetic tremor in reach-to-grasp movement in Parkinson's disease. *Movement Disorders* **15** (6), S. 1084-1094
- WEIS, S., WEBER, G., WENGER, E. & KIMBACHER, M. (1989):  
The controversy about a sexual dimorphism of the human Corpus callosum. *International Journal of Neuroscience* **47**, S. 169-173
- WING, A.M. & FRASER, C. (1983):  
The Contribution of the thumb to reaching movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* **35a**, S. 297-309
- WING, A.M., TURTON, A. & FRASER, C. (1986):  
Grasp Size and Accuracy of Approach in Reaching. *Journal of Motor Behavior* **18** (3), S. 245-260
- WING, A.M., HAGGARD, P. & FLANAGAN, J.R. (1996):  
*Hand and Brain. The Neuropsychology and Psychology of Hand Movements*. Academic Press
- WITELSON, S.F. (1976):  
Sex and the single hemisphere: specialization of the right hemisphere for spatial processing. *Science* **193** (4251), S. 425-427
- WITELSON, S.F. & KIGAR, D.L. (1992):  
Sylvian fissure morphology and asymmetry in men and women: Bilateral differences in relation to handedness in men. *Journal of Comparative Neurology* **323**, S. 326-340
- WITELSON, S.F., GLEZER, I.I. & KIGAR, D.L. (1995):  
Women have greater density of neurons in posterior temporal cortex. *Journal of Neuroscience* **15**, S. 3418-3428
- WITKIN, H.A., FATERSON, H.F., GOODENOUGH, D.R. & BIRNBAUM, J. (1966):  
Cognitive patterning in mildly retarded boys. *Children Developmental* **37** (2), S. 301-316

WOLF, T. & KRAAS, H. (2000):

OWIT, Bedienungsanleitung. Physiologisches Institut der Christian-Albrechts-Universität Kiel

ZAIDEL, E., ABOITIZ, F. & CLARKE, J. (1995):

Sexual dimorphism in interhemispheric relations: anatomical behavioral convergence. *Biological Research* **28**, S. 27-43

## 8. Anhang

### 7.1 Zeichnungen vom Gehirn

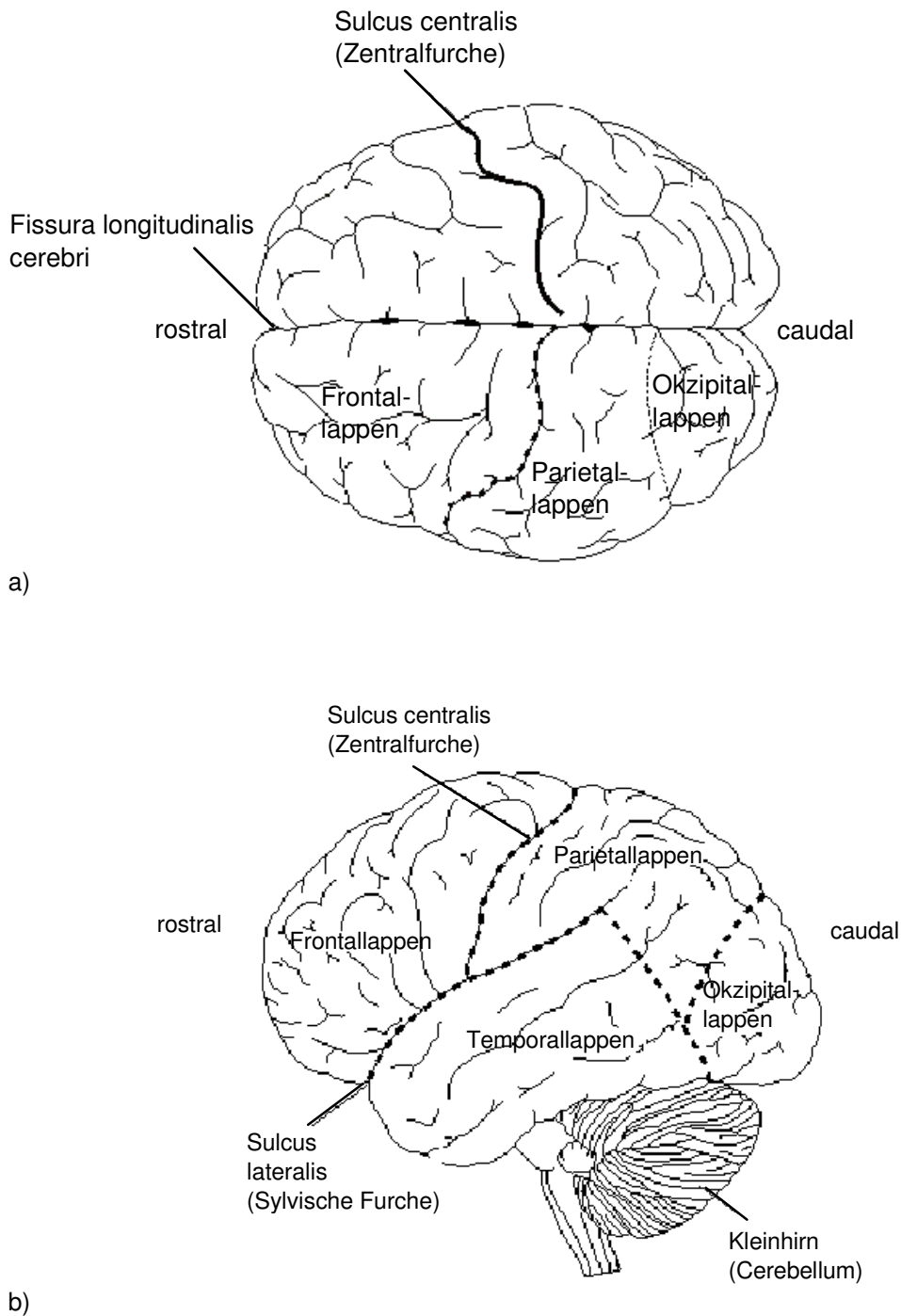
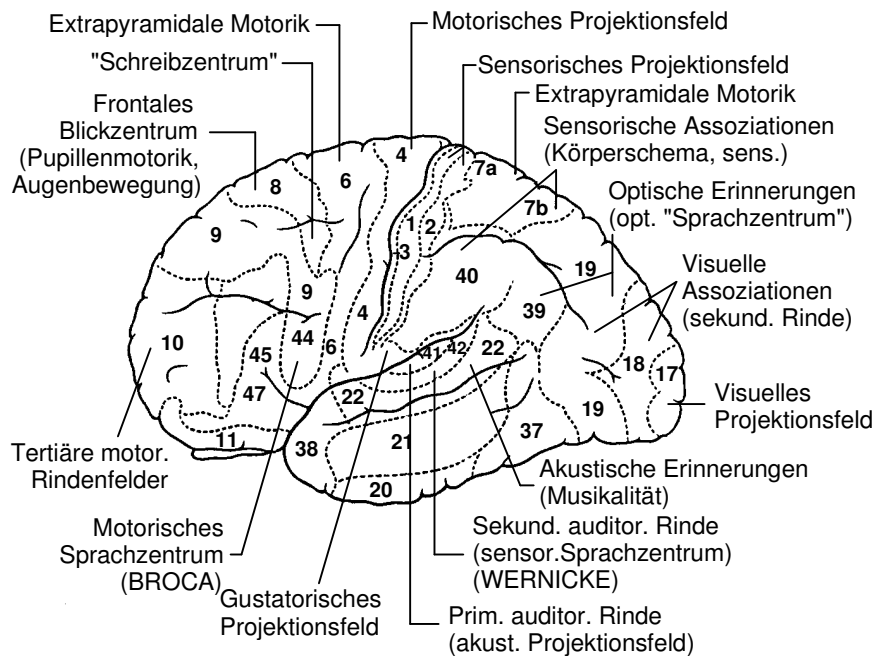
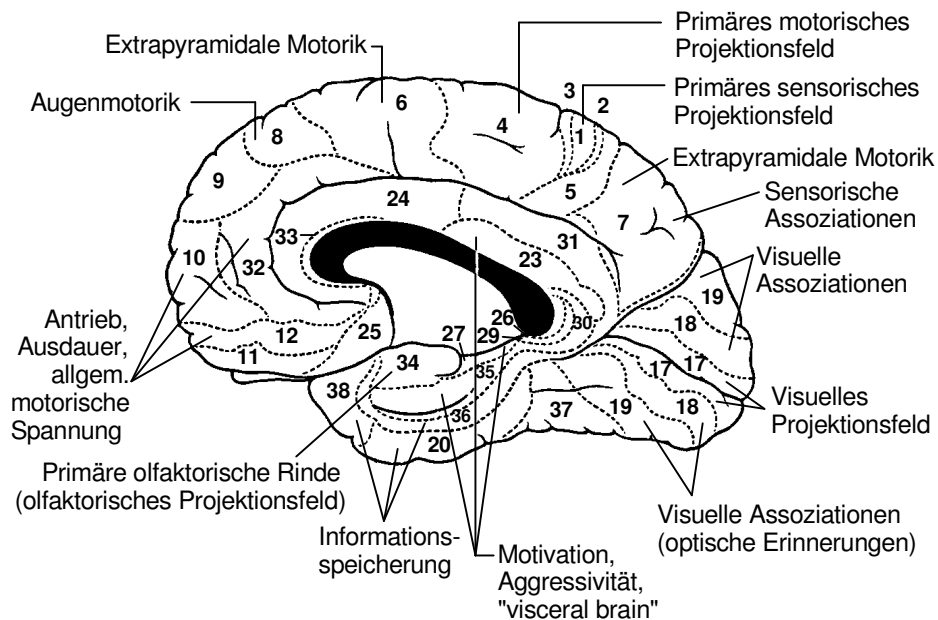


Abb. 53: **Blick von oben und von der Seite auf das menschliche Gehirn.** Die wichtigste Unterteilung der Großhirnrinde beim Menschen ist die in Frontal- (Stirn-), Parietal- (Scheitel-), Temporal- (Schläfen-) und Okzipital-lappen (Hinterhauptslappen).



a)



b)

Abb. 54: Rindenfelder nach Brodmann und funktionelle Gliederung der Hirnrinde, a) außen und b) innen (aus Rohen, 1975).

## 7.2 Cerebrale Lateralisation im Überblick

**Tabelle 23: Cerebrale Lateralisation bei rechtshändigen Personen**


(nach: Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie, Sturm, W.; Herrmann, M.; Wallesch, C.-W.)

	Linke Hemisphäre	Rechte Hemisphäre
Visuelles System	Buchstaben, Wörter, lokale Informationen	Komplexe geometrische Muster, Gesichter, Farben, Tiefeninformation, stereo- skopisches Sehen, globale Informationen
Auditorisches System	Sprachverwandte Laute	Nichtsprachliche Laute, Umweltgeräusche, Musik
Somatosensorisches System		Taktiler Wiedererkennen komplexer Reizmuster, Blindenschrift
Bewegung	Komplexe Willkürbewegungen, Feinmotorik, Zielmotorik	Bewegungen im Raum, Haltung, Stand
Gedächtnis	Verbales Gedächtnis	Nichtverbales Gedächtnis
Sprache	Sprechen, Lesen Schreiben, Rechnen	Sprachmelodie
Räumliche Prozesse		Richtungssinn Mentale Rotation von Formen, Geometrie


## 7.3 Aufgaben zu Geschlechtsdifferenzen

### Probleme, bei deren Lösung Frauen im Vorteil sind:

Tests der sogenannten Wahrnehmungsgeschwindigkeit, bei denen Bildpaare rasch zu erkennen sind – hier gilt es, das Gegenstück des links abgebildeten Hauses zu finden:




Aufgaben wie die, sich zu erinnern, ob ein oder mehrere Gegenstände in einem Ensemble verschoben oder daraus entfernt wurden:



Tests der Ideen- und Wortflüssigkeit, bei denen die Probanden etwa Gegenstände derselben Farbe oder Wörter mit demselben Anfangsbuchstaben aufzählen sollen:

L	Liebe, Leid, Lachen, Loch, Lage, Lager, Leben, Leber, Leiste, Leim, Lift, Luft, Last, Laster, List ...
---	---

Tests der feinmotorischen Koordination – etwa das Einstecken von Stiften in die Löcher eines Brettes:

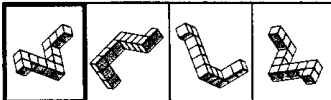


Rechenaufgaben:

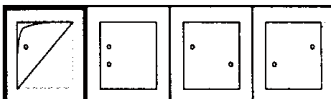
77	$14 \times 3 - 17 + 52$
43	$2(15 + 3) + 12 - \frac{15}{3}$

### Probleme, bei deren Lösung Männer im Vorteil sind:

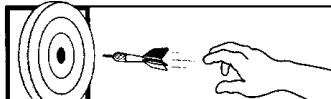
Bestimmte Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen und zur mentalen Rotation wie die, dieses dreidimensionale Objekt in der Vorstellung zu drehen,



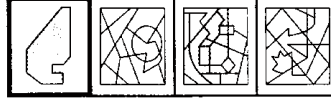
oder zu bestimmen, in welcher Position die Löcher in einem gefalteten Blatt Papier nach dem Aufklappen liegen:



Tätigkeiten, die den Einsatz von zielgerichteten motorischen Fertigkeiten erfordern, wie beispielsweise das Werfen und Auffangen von Gegenständen:



Auffinden einfacher Formen wie der links gezeigten in einer Vielzahl überlagerter Strukturen:



Mathematisches Schlußfolgern:

1100	Wenn nur 60 Prozent aller Setzlinge angehen, wie viele muß man pflanzen, um 660 Bäume zu erhalten?
------	--

Abb. 55: Verschiedene Aufgaben, bei denen sich Geschlechterdifferenzen zeigen (Kimura, 1992).



## 7.4 Handpräferenz-Fragebogen

<b>Händigkeitstest (nach Marian Annett)</b>					
<b>Name:</b>					
<b>Geburtsdatum:</b>					
<b>Alter:</b>					
<b>Geschlecht:</b>					
<b>Frage: Zeige mir, wie Du.....</b>	<b>Immer rechts</b>	<b>Fast immer rechts</b>	<b>Kein Unterschied</b>	<b>Fast immer links</b>	<b>Immer links</b>
1. schreibst					
2. den Ball wirfst					
3. den Schläger beim Tennisspielen hältst					
4. den Hammer hältst, wenn Du hämmerst					
5. das Streichholz hältst, wenn Du es anzündest					
6. die Zahnbürste beim Zähne putzen hältst					
7. das Glas hältst, wenn Du trinkst					
8. die Schere hältst, wenn Du etwas schneidest					
9. zeichnest					
10. die Flasche auf- und zudrehst (führende Hand)					
11. den Faden hältst beim Einfädeln in eine Nadel (führende Hand)					
12. das Messer hältst, wenn Du schneidest					
13. den Krug hältst, wenn Du eingießt					
14. das Staubtuch hältst, wenn Du Staub wischst					
15. das Messer hältst beim Kartoffel schälen					
16. Auf welchem Fuß stehst Du lieber?					
17. Mit welchem Fuß schießt Du den Ball ?					
18. Mit welchem Fuß trittst Du auf eine Knallerbse?					
19. Mit welchem Auge guckst Du durch die Rolle?					
20. Mit welchem Auge zielst Du?					
Gesamtpunktzahl					



### 7.7 Das Bem-Sex-Role Inventory (BSRI)

Bei dem Fragebogen sollten die Probanden selbst beurteilen, ob und wie stark sie die jeweils genannten Eigenschaften haben. Zur Veranschaulichung sind hier einige Beispiele aufgeführt:

Ich bin romantisch

gesellig  
gesund  
glücklich  
gründlich  
teilnahmslos  
entschlossen  
zuverlässig  
fröhlich  
nachgiebig  
bescheiden  
unerschrocken  
geschickt  
gewissenhaft  
leidenschaftlich  
vergeßlich

## 7.8 Glossar

- Brodmann-Areale:** Einteilung des Gehirns von Brodmann nach histologischen Kriterien.
- BSRI:** Bem-Sex-Role Inventory, erfasst die Geschlechtsrollenidentifikation anhand einer Selbsteinschätzung.
- EMG:** Elektromyographie
- Extrinsisch:** fremdbestimmt in der Auslösung einer Handlung.
- Intrinsisch:** von innen her kommend.
- Kinematik:** Lehre von der geometrischen und analytischen Beschreibung der Bewegungszustände von Punkten und Körpern.
- Kraftgriff:** die Finger sind gebeugt, so dass sie zusammen mit der Handfläche eine Art Klammer bilden, der Daumen steht dabei den anderen Fingern nicht unbedingt gegenüber.
- Lateralisation der Funktion:** Die ungleiche Repräsentation einer bestimmten psychologischen Funktion in den beiden Großhirnhemisphären
- Neokortex:** stammesgeschichtlich jüngster Teil der Großhirnrinde.
- Optoelektronisch:** Verfahren zur Bewegungsmessung mit Kameras und elektronischen Videoprozessoren.
- OWIT:** Object Wrist Index Thumb, Programm zur Auswertung von Greifbewegungen.
- Paper-Test:** Der Paper-Test ist ein Test, anhand dessen die Geschicklichkeit der Hände untersucht wird.
- Pinzettengriff:** charakterisiert durch die Gegenüberstellung des Daumens (besonders der Kuppe) zu einem oder mehreren der restlichen Finger, ist die genaueste Greifbewegung der Hände.
- Pneumoencephalographie:** cerebrospinale Flüssigkeit wird durch Luft ersetzt, somit erscheinen die Hohlräume schwarz auf dem Röntgenbild und man kann die Ventrikel erkennen.
- Posttraumatisch:** nach einer Verletzung entstanden.

**Purdue-Pegboard:** Steckbrett-Test, wurde ursprünglich entwickelt, um die Fingerfertigkeit von Arbeitern zu testen, eignet sich gut zur Beschreibung von motorischen Fähigkeiten.

**Restitution:** Wiederherstellung

**Schädelhirntrauma:** Oberbegriff für gedeckte bzw. offene Schädelverletzungen mit Gehirnbeteiligung.

**Senso-motorisch:** bezeichnet das Zusammenwirken des sensorischen und des motorischen Systems, so z.B. die senso-motorische Koordination zwischen Tastsinn und Kraft beim Greifen.

**Word-fluency:** prüft die sprachliche Flüssigkeit, stammt aus der überarbeiteten Fassung des Leistungsprüfsystems.

### **Bedingungen**

„**rechts**“: rechte Hand

„**links**“: linke Hand

„**hell**“: Proband konnte während der Versuchsdurchführung das Objekt sehen

„**dunkel**“: Proband konnte während der Versuchsdurchführung das Objekt nicht sehen, das Licht im Raum war ab dem Startsignal aus

„**schnell**“: Proband griff nach Vorgabe im schnellen Tempo

„**normal**“: Proband griff nach Vorgabe im normalen Tempo

„**langsam**“: Proband griff nach Vorgabe im langsamen Tempo



## 9. Danksagung

Zum Schluss bleibt mir nun noch all jenen zu danken, ohne deren Hilfe ich diese Arbeit nie hätte verwirklichen können:

- Prof. Dr. M. Illert für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes.
- Dr. I. Schröder für die Übernahme der Doktorandenbetreuung und die Diskussionen, insbesondere zum Ende der Arbeit.
- PD Dr. J.P. Kutzt-Buschbeck für die Einführung in die praktische Tätigkeit, die Betreuung während der gesamten Arbeit, die vielen Diskussionen und das immer wieder konstruktive Korrekturlesen.
- Dr. B. Hoppe für die ständige Bereitschaft zur Diskussion, produktiven Gesprächen, für die Unterstützung in der Statistik und der Graphikgestaltung und für das repetitive Korrekturlesen.
- Dr. C. Holzknecht für die Unterstützung bei der Anatomie und das nützliche Korrekturlesen.
- Dipl. Biol. A. Rzehulka für die hilfreichen Hinweise und Vorschläge, um der Arbeit den letzten Schliff zu verleihen.
- Frau M. Valkema-Petersen für die Hilfe bei der Literaturrecherche.
- Frau E. Tallone für die Hilfe beim Einscannen von Abbildungen.
- Ein Dank geht auch an meine Probanden, denn ohne sie wäre diese Arbeit gar nicht erst zustande gekommen.
- Zum Schluss geht der Dank an meine Familie, die mich, wo sie nur kann, unterstützt.





## 10. Lebenslauf

Name: Alexandra Grosskopf

Geboren: 06.04.1975 in Berlin

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: ledig

1981 - 1987 Erpel-Grundschule in Berlin

1987 - 1994 Humboldt-Oberschule (Gymnasium) in Berlin

1994 - 2000 Studium der Biologie an der Freien Universität Berlin  
(12 Semester)

1997 Mitarbeit in der Seehundstation Friedrichskoog

1998 Diplom Vorprüfung

2000 Diplomprüfung (Hauptfach: Verhaltensbiologie und Tierphysiologie,  
Nebenfächer: Anthropologie und Zoologie)  
Diplomarbeit am Institut für Anthropologie und Humanbiologie der FU  
Berlin: Synchronisation bimanueller Reich- und Greifbewegungen von  
Menschen am „Peg-Board“

1994 - 2000 Aushilfsarbeiten im kaufmännischen Bereich und im Lager der  
Firma Pech & Beesel GmbH in Berlin

Januar 2001 - April 2001 Kaufmännische Angestellte der Firma Pech &  
Beesel GmbH in Berlin

Mai 2001 - Dezember 2001 BMBF- Projekt „Restitution senso-motorischer  
Funktionen nach Schädel-Hirn Trauma bei Kindern“

Januar 2002 - Dezember 2004

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Physiologischen Institut der Christian-  
Albrechts-Universität zu Kiel (8 Studiensemester)

Leitung von Praktika: Physiologie für Mediziner & Zahnmediziner

Dissertation bei Dr. Schröder mit dem Thema:

„Kinematische Analyse von Ziel- und Greifbewegungen der dominanten  
und non-dominanten Hand bei beiden Geschlechtern“



# ERKLÄRUNG

Ich versichere, dass ich die von mir vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unzulässige Hilfe angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben, dass diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät zur Prüfung vorgelegen hat, noch nicht veröffentlicht worden ist, aber zur Veröffentlichung eingereicht wurde. Die Bestimmungen der geltenden Promotionsordnung sind mir bekannt.

Kiel, den 27.10.2004

---

(Alexandra Grosskopf)

