

**Jan Pabst**

## **Behindertenschwimmsport und Klassifizierung**

Eine Untersuchung zur Problematik der Klassifizierung im Brustschwimmen von Menschen mit Behinderung







**Jan Pabst**

## **Behindertenschwimmsport und Klassifizierung**

Eine Untersuchung zur Problematik der Klassifizierung im  
Brustschwimmen von Menschen mit Behinderung

**Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Informationen sind im Internet unter: <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© Lehmanns Media • Berlin 2009  
Hardenbergstraße 5 • 10623 Berlin

Druck und Bindung: Docupoint Magdeburg

ISBN: 978-3-86541-332-1

[www.lehmanns.de](http://www.lehmanns.de)

## **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit ist nicht allein das Ergebnis eigener Bemühungen, sondern es bedurfte vielfältiger Unterstützung und Hilfen, um die notwendigen Untersuchungen durchzuführen und diese Arbeit zu erstellen. Ich möchte daher die Gelegenheit nutzen allen Menschen zu danken, die für mich eine wichtige Rolle bei der Erstellung der Dissertation gespielt haben.

In erster Linie sei allen Athleten der Trainingsgruppen aus Leipzig, Magdeburg und Chemnitz, unter der Leitung von Anke Tanz (Leipzig), Achim Müller (Magdeburg) und Gunter Thiele (Chemnitz), für ihre Teilnahme an der Untersuchung gedankt. Ohne ihren gewissenhaften Einsatz und ihr großes Engagement wäre die reibungslose Durchführung der Untersuchung nie möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. phil. habil. Lutz Schega für seine langjährige Betreuung. Er hat es wunderbar verstanden, mich durch entsprechende Freiräume zum eigenständigen Arbeiten anzuregen, aber auch durch fachliche Fragen und konstruktive Kritik immer wieder neue Anregung und Motivation zu schaffen. Durch sein Gespür für Entwicklungspotenziale, nicht nur in Bezug auf die Promotion, regte er oft zu neuen Herausforderungen an. Vielen herzlichen Dank!

Des Weiteren möchte ich Herrn Prof. Dr. Jürgen Edelmann-Nusser (Universität Magdeburg) und Herrn Prof. Dr. Andreas Hohmann (Universität Bayreuth) für ihre Bereitschaft zur Begutachtung der vorliegenden Arbeit danken.

Herzlichen Dank an Frau Dr. Christine Stucke (Universität Magdeburg), die mir mit fachlichem Rat und aufmunternden Worten zur Seite stand und immer an mich geglaubt hat. In diesem Zusammenhang auch einen Dank an alle Kollegen/-innen und Studenten/-innen der Universität Leipzig und der Universität Magdeburg, die mir bei der Umsetzung der Arbeit behilflich waren.

Für die großartige Zusammenarbeit und moralische Unterstützung im wissenschaftlichen Alltag danke ich PD Dr. phil. habil. Stefan Panzer (Universität Leipzig) und Dr. phil. Falk Naundorf (IAT Leipzig), besonders für die vielen erhellenden wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Diskussionen, bei denen sie immer scharfe Kritiker waren.

Besonders wertvoll war stets und ständig der Gedankenaustausch mit Herrn Dr. phil. Thomas Mühlbauer (Universität Basel), der mir mit seinen kritischen Anregungen und Hinweisen den gedanklichen Weg zur Umsetzung dieser Arbeit mit ermöglichte. Vielen Dank, Thomas!

Ich möchte meinen Freunden „außerhalb der Wissenschaft“ danken, dafür, dass es sie gibt und sie dafür Sorgen, dass mein Horizont nicht nur auf dem wissenschaftlichen Gebiet bleibt. Nico, Gilligan und Zausi seien besonders erwähnt.

Zu danken habe ich auch „meiner kleinen Exfrau“, Grit Ackermann, die mir über weite Strecken der Promotion stets den notwendigen Rückhalt gab und mir immer Rücksicht und Geduld entgegenbrachte. Durch sie war es möglich, die schönen Phasen dieser Arbeit zu genießen und die schwierigen zu überwinden.

Ellen Schmidt, Antje Hoffmann, Diana Schmidt und Torsten Warnke gebührt großer Dank für die Hilfe beim Korrekturlesen der Arbeit.

Außerdem ist es mir ein Bedürfnis, ein Wort des Danks an meine Eltern Gabi und Wolfgang sowie an meine Geschwister Swen und Juliane für ihre unermüdliche Unterstützung während dieser Jahre zu richten. Sie haben mich in schwierigen Situationen stets unterstützt und vieles ermöglicht, das ohne ihre Hilfe nicht denkbar gewesen wäre.

Während der gesamten Entstehungszeit dieser Arbeit hatte ich das Glück auf viele Menschen zu treffen, die mir personell, materiell, ideell oder finanziell geholfen haben meinen Weg zu verfolgen, die aber nicht persönlich genannt wurden. Auch bei ihnen möchte ich mich an dieser Stelle sehr herzlich bedanken.

**Inhaltsverzeichnis**

**Abkürzungsverzeichnis.....IV**

**Abbildungsverzeichnis .....VIII**

**Tabellenverzeichnis .....XI**

**1 Einleitung ..... 1**

    1.1 Problemstellung..... 1

    1.2 Zielstellung der Arbeit ..... 5

    1.3 Struktur der Arbeit ..... 6

**2 Theoretische Vorbetrachtungen ..... 7**

    2.1 Physikalische Wasserwirkungsfaktoren..... 7

        2.1.1 Hydrostatischer Druck..... 8

        2.1.2 Auftriebskräfte..... 9

        2.1.3 Hydrodynamischer Widerstand ..... 10

    2.2 Konzepte der Vortriebserzeugung im Schwimmen ..... 12

        2.2.1 Antriebskonzepte – technische Analogie ..... 13

        2.2.2 Zusammenfassung zu den Antriebskonzepten ..... 21

    2.3 Koordination der Brustschwimmbewegung..... 22

        2.3.1 Technik des Brustschwimmens ..... 23

        2.3.2 Quantitatives Modell zur Phasenbestimmung im Brustschwimmen..... 30

    2.4 Diagnose der körperlichen Leistungsfähigkeit im Schwimmen ..... 32

        2.4.1 Schwimmspezifische Leistungsdiagnostik im Wasser ..... 32

        2.4.2 Leistungsdiagnostik im Schwimmen von Menschen mit Behinderung ..... 35

        2.4.3 Einsatz der Kinematografie bzw. Videografie im Schwimmen ..... 36

        2.4.4 Einsatz der Oberflächenelektromyografie im Schwimmen..... 45

    2.5 Klassifizierungssystem im Schwimmen von Menschen mit Behinderungen ..... 63

        2.5.1 Funktionelles Klassifizierungssystem – körperliche Behinderungen..... 65

        2.5.2 Problematik des Funktionellen Klassifizierungssystems ..... 68

    2.6 Zusammenfassung und untersuchungsmethodische Ableitungen..... 70

**3 Fragestellungen und allgemeine Forschungshypothesen..... 75**

**4 Untersuchungskonzept..... 80**

    4.1 Untersuchungstichprobe ..... 80

    4.2 Untersuchungsansatz..... 81



4.3	Untersuchungsverfahren.....	82
4.3.1	2-D-Bewegungsanalyse.....	82
4.3.2	Oberflächenelektromyografie.....	90
4.4	Untersuchungsdurchführung.....	98
4.5	Untersuchungsaufbau.....	98
4.6	Statistische Datenbearbeitung.....	99
<b>5</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>102</b>
5.1	Analyse der Brustschwimmbewegung.....	102
5.1.1	Zeitkontinuierliche Bewegungsmerkmale.....	102
5.1.2	Zeitdiskrete Bewegungsmerkmale .....	107
5.2	Analyse der muskulären Aktivität.....	122
5.2.1	Relatives Timing der muskulären Aktivität – Relatives Timing.....	122
5.2.2	Relative Dauer der muskulären Aktivität – On-Offset.....	128
5.2.3	Koordination der muskulären Aktivität – Koinzidenz .....	132
5.3	Simultane Analyse der muskulären Aktivitäten und der Brustschwimmbewegung – Einzelfälle.....	137
5.3.1	Einzelfallbetrachtung A-SB13-1 (SB13).....	137
5.3.2	Einzelfallbetrachtung A-SB8-2 (SB8).....	142
<b>6</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>148</b>
6.1	Diskussion der Ergebnisse der Brustschwimmbewegung.....	148
6.1.1	Zeitkontinuierliche Bewegungsmerkmale.....	149
6.1.2	Zeitdiskrete Bewegungsmerkmale .....	151
6.2	Diskussion der Ergebnisse der muskulären Aktivität .....	158
6.2.1	Relatives Timing der muskulären Aktivität – Relatives Timing.....	158
6.2.2	Relative Dauer der muskulären Aktivität – Relative Aktivitätsdauer .....	160
6.2.3	Koordination der muskulären Aktivität – Koinzidenz .....	161
6.3.	Diskussion der Ergebnisse der simultanen Analyse der muskulären Aktivität und der Brustschwimmbewegung – Einzelfälle.....	163
6.3.1	Einzelfallbetrachtung A-SB13-1 .....	163
6.3.2	Einzelfallbetrachtung A-SB8-2 .....	164
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>167</b>
7.1	Empfehlungen für die Sportpraxis .....	174
7.2	Ausblick für die Forschung.....	176

---

<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>178</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>203</b>
	Anhang A – Bewegungsanalyse .....	203
	Anhang B – Oberflächenelektromyografie .....	211
	Anhang C – Statistische Prüfergebnisse .....	219
	Anhang D – Sonstiges.....	220

## Abkürzungsverzeichnis

---

Name	Einheit	Erklärung
A	m <sup>2</sup>	Fläche
AB*		Schwimmer mit allgemeiner Behinderung
A-SB2-1		Codierung der Athleten
BISp		Bundesinstitut für Sportwissenschaft
BS		Belastungsstufe
bzgl.		bezüglich
bzw.		beziehungsweise
ca.		cirka
CP-ISRA		Cerebral Palsy International Sports and Recreation Association
c <sub>w</sub>		Widerstandsbeiwert
d. h.		das heißt
dB		Dezibel
DBS		Deutscher Behindertensportverband e. V.
df		Freiheitsgrade (engl.: degrees of freedom)
EG		Ellenbogengelenk
EMAD	ms	elektromechanische Aktivierungsverzögerung
EMD	ms	elektromechanische Verzögerung
EMG		Elektromyogramm (engl.: electromyogram)
EMRD	ms	elektromechanische Entspannungsverzögerung
ePh		einleitende Phase
F	N	Kraft
Fa.		Firma
FCS		Funktionelles Klassifizierungssystem
g	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
gek. Ko.		Gekoppelte Koordination
ggf.		gegebenenfalls
h	m	Höhe der Flüssigkeitssäule

---

---

<b>Name</b>	<b>Einheit</b>	<b>Erklärung</b>
Hz		Hertz
HG		Hüftgelenk
Hph		Hauptphase
IEMG		Integrated EMG
IPC		International Paralympic Comitee
IQR		Inter
ISMWSF		International Stoke Mandeville Wheelchair Sport Federation
ISOD		International Sports Organisation for the Disabled
KG		Kniegelenk
KSP		Körperschwerpunkt
li.		links
m		männlich
M.		Musculus
max.		maximal
MBB		M. biceps brachii, caput longum
MBF		M. biceps femoris, caput longum
MDP		M. deltoideus, pars arcromialis
MES		M. erector spinae, lumbalis
min.		minimal
MPM		M. pectoralis major, pars clavicularis
MRF		M. rectus femoris, caput longum
MTB		M. triceps brachii, caput longum
MVC		Maximum Value Capacity, maximale willkürliche Kontraktion
MW		arithmetisches Mittel
n		Anzahl der Versuchspersonen
n.		nach
OA		Oberarm
OEMG		Oberflächenelektromyografie
OS		Oberschenkel

---

## Abkürzungsverzeichnis

---

<b>Name</b>	<b>Einheit</b>	<b>Erklärung</b>
p <sub>statisch</sub>		Hydrostatischer Druck
Pkt.		Punkt
PSQ	%	Phasenstrukturquotient
PSQ-Arm	%	Phasenstrukturquotient der Armbewegung
PSQ-Bein	%	Phasenstrukturquotient der Beinbewegung
p-Wert		Wahrscheinlichkeit geschätzt über die relative Häufigkeit
r		Korrelationskoeffizient
r <sup>2</sup>		Bestimmtheitsmaß
re.		rechts
rel.		relativ
s	m	Weg
S*		Bezeichnung für die Startklassen des Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmens
S.		Seite
SB*		Bezeichnung für die Startklasse Brustschwimmen
SD		Standardabweichung, Streuung
sek		Sekunde
SENIAM		Oberflächenelektromyografie für die nichtinvasive Einschätzung von Muskeln (engl.: surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles)
SG		Schultergelenk
SK		individuell klassifizierte Startklasse
SM*		Bezeichnung für die Startklasse Lagenschwimmen
SPSS		Statistical Package for Social Science
s <sub>x</sub>		Standardabweichung
t	s	Zeit
t <sub>Offset</sub>		Zeitpunkt des Endes einer muskulären Aktivität
t <sub>Onset</sub>		Zeitpunkt des Beginns einer muskulären Aktivität
u. a.		unter anderem
usw.		und so weiter

---

Name	Einheit	Erklärung
u. v. m.		und viele mehr
üPh		überleitende Phase
US		Unterschenkel
v	m/s	Geschwindigkeit
$V_x$ Extremität absolut	m/s	absolute horizontale Extremitätengeschwindigkeit
$V_x$ Extremität relativ	m/s	relative horizontale Extremitätengeschwindigkeit
$V_x$ Hüfte absolut	m/s	absolute Hüftgeschwindigkeit
$V_x$ konstant Kanal individuell	m/s	individuell ermittelte Kanalgeschwindigkeit
vgl.		vergleiche
$V_k$	$m^3$	Volumen des Körpers
vPh		vorbereitende Phase
vs.		versus
w		weiblich
z. B.		zum Beispiel
ZD	s	Zyklusdauer
ZF	Z/min	Zyklusfrequenz
ZW	m	Zyklusweg
$\alpha$		Signifikanzniveau
$\Delta f$	s-1	Fehler der Frequenzkennwerte
$\delta f_l$	$kg/m^3$	Dichte der Flüssigkeit
$\Delta PSQ$		Fehler des Phasenstrukturquotientens
$\Delta s$	m	Gesamtfehler der Wegkennwerte
$\Delta s_s$	m	systematischer Fehler der Wegkennwerte
$\Delta s_z$	m	maximaler systematischer Fehler der Wegkennwerte
$\Delta t$	s	Gesamtfehler der Zeitkennwerte
$\Delta t_{\text{Onset / Offset}}$		relative Dauer einer muskulären Aktivität
$\Delta t_s$	s	systematischer Fehler der Zeitkennwerte
$\Delta t_z$	s	zufälliger Fehler der Zeitkennwerte

Anmerkung: \* Die dazugehörige Zahl kennzeichnet die für den Sportler klassifizierte Startklasse.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Modellierung der Brustschwimmbewegung in Phasen der Arm- (links) und Beinbewegung (rechts) nach Jähmig et al. (1973) .....	30
Abbildung 2. Vereinfachte schematische Darstellung des Funktionellen Klassifizierungssystems im Schwimmen von Menschen mit Behinderung(nach I.P.C Swimming, 2005).....	67
Abbildung 3. Beispielhafte Darstellung des Prinzips der Koinzidenz eines agonistisch (Muskel 1) und eines antagonistisch arbeitenden Muskels (Muskel 2) (mod. nach Zschorlisch, 1987, S. 88).....	97
Abbildung 4. Untersuchungsaufbau.....	99
Abbildung 5. Gemittelter (20 Brustschwimmzyklen) zeitnormalisierter Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf der Hüfte, der Hand und des Fußes am Beispiel eines Athleten (A-SB9-1) beim Brustschwimmen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	103
Abbildung 6. Gemittelter (20 Brustschwimmzyklen) zeitnormalisierter Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf der Hüfte, der Hand und des Fußes am Beispiel eines Athleten (A-SB3-1) mit alleinigem Armantrieb beim Brustschwimmen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung .....	105
Abbildung 7. Zusammenhang zwischen Zyklusfrequenz (links) bzw. Zyklusweg (rechts) und der Startklasse aller untersuchten Athleten beim Brustschwimmen zum Zeitpunkt der individuellen maximalen Ausbelastung.....	108
Abbildung 8. Zusammenhang zwischen der relativen (rel.) Dauer der Hauptphase der Armbewegung (links) bzw. der Beinbewegung (rechts) und der Startklasse der untersuchten Athleten beim Brustschwimmen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung .....	111
Abbildung 9. Exemplarische Darstellung der Antriebspausen (Fuß–Hand und Hand–Fuß) im gemittelten Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf eines Athleten (A-SB9-1) zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	114
Abbildung 10. Zusammenhang zwischen der relativen Dauer der Antriebspause Fuß–Hand (links, Dauer vom Ende der Hauptphase der Beinbewegung bis zum Beginn der Hauptphase der Armbewegung) bzw. Hand–Fuß (rechts, Dauer vom Ende der Hauptphase der Armbewegung bis zum Anfang der Hauptphase der	

---

Beinbewegung) und der Startklasse der untersuchten Athleten beim Brustschwimmen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	115
Abbildung 11. Zusammenhang zwischen dem Phasenstrukturquotienten der Hand (links) bzw. des Fußes (rechts) und der Startklasse der untersuchten Athleten beim Brustschwimmen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	118
Abbildung 12. On-Offset der abgeleiteten Muskeln der linken (weiß) und rechten (grau) Körperseite am Beispiel des Athleten A-SB9-1 (untere Plexus-brachialis-Lähmung links) während des gemittelten Brustschwimmzyklus zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung; Anmerkung: ① einleitende Phase; ② Hauptphase; ③ überleitende Phase; ④ vorbereitende Phase; PhB – Brustschwimmphasen der Beinbewegung; PhA – Brustschwimmphasen der Armbewegung.....	123
Abbildung 13. Relative Dauer der muskulären Aktivität am Beispiel des M. biceps brachii (links) und des M. triceps brachii (rechts) der rechten und linken Körperseite der untersuchten Athleten zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung...	128
Abbildung 14. Relative Dauer der muskulären Aktivität am Beispiel des M. erector spinae (links) und des M. rectus femoris (rechts) der rechten und linken Körperseite der untersuchten Athleten zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	130
Abbildung 15. Koinzidenz des M. biceps brachii zum M. triceps brachii (links) und des M. biceps femoris zum M. rectus femoris (rechts) der rechten und linken Körperseite der untersuchten Athleten zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung...	133
Abbildung 16. Zeitnormalisierter Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf eines über 10 Zyklen gemittelten Brustschwimmzyklus des Athleten A-SB13-1 (SB13) auf der Belastungsstufe $\pm 0$ N der rechten Körperseite; Anmerkung: Brustschwimmzyklus (- - - Phasen des Armantriebs, ----- Phasen des Beinantriebs): ePh – einleitende Phase, Hph – Hauptphase, üPh – überleitende Phase und vPh – vorbereitende Phase..	138
Abbildung 17. Roh-OEMG (Athlet A-SB13-1) des M. biceps brachii und des M. triceps brachii von 10 aufeinander folgenden Brustschwimmzyklen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung .....	139
Abbildung 18. Roh-OEMG (Athlet A-SB13-1) des M. erector spinae von 10 aufeinanderfolgenden Brustschwimmzyklen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung .....	139



Abbildung 19. Zeitnormalisiertes Roh-OEMG des M. erector spinae der rechten und linken Körperseite des Athleten A-SB13-1 (SB13) über 10 gemittelte Brustschwimmzyklen; Anmerkung: Brustschwimmzyklus (- - - Phasen des Armantriebs, ----- Phasen des Beintriebs): ① – einleitende Phase, ② – Hauptphase, ③ – überleitende Phase und ④ – vorbereitende Phase ..... 140

Abbildung 20. Zeitnormalisiertes Roh-OEMG des M. biceps brachii und des M. triceps brachii der rechten und linken Körperseite des Athleten A-SB13-1 (SB13) über 10 gemittelte Brustschwimmzyklen; Anmerkung: Brustschwimmzyklus (- - - Phasen des Armantriebs, ----- Phasen des Beintriebs): ① – einleitende Phase, ② – Hauptphase, ③ – überleitende Phase und ④ – vorbereitende Phase..... 140

Abbildung 21. Zeitnormalisierter Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf eines über 10 Zyklen gemittelten Brustschwimmzyklus des Athleten A-SB8-2 (SB8) auf der Belastungsstufe  $\pm 0$  N von der rechten Körperseite; Anmerkung: Brustschwimmzyklus (- - - Phasen des Armantriebs, ----- Phasen des Beintriebs): ePh – einleitende Phase, Hph – Hauptphase, üPh – überleitende Phase und vPh – vorbereitende Phase ..... 143

Abbildung 22. Zeitnormalisiertes Roh-OEMG des M. erector spinae der linken Körperseite des Athleten A-SB8-2 (SB8) über 10 gemittelte Brustschwimmzyklen auf der Belastungsstufe  $\pm 0$  N; Anmerkung: Brustschwimmzyklus (- - - Phasen des Armantriebs, ----- Phasen des Beintriebs): ① – einleitende Phase, ② – Hauptphase, ③ – überleitende Phase und ④ – vorbereitende Phase..... 144

Abbildung 23. Zeitnormalisiertes Roh-OEMG des M. biceps brachii und des M. triceps brachii der linken und rechten Körperseite des Athleten A-SB8-2 (SB 8) über 10 gemittelte Brustschwimmzyklen; Anmerkung: Brustschwimmzyklus (- - - Phasen des Armantriebs, ----- Phasen des Beintriebs): ① – einleitende Phase, ② – Hauptphase, ③ – überleitende Phase und ④ – vorbereitende Phase ..... 144

Abbildung 24. Zeitnormalisiertes Roh-OEMG des M. deltoideus pars acromialis und des M. pectoralis major der linken und rechten Körperseite des Athleten A-SB8-2 (SB8) über 10 gemittelte Brustschwimmzyklen; Anmerkung: Brustschwimmzyklus (- - - Phasen des Armantriebs, ----- Phasen des Beintriebs): ① – einleitende Phase, ② – Hauptphase, ③ – überleitende Phase und ④ – vorbereitende Phase..... 145

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Phaseneinteilung der Brustschwimmbewegung.....	29
Tabelle 2. Oberflächenelektromyografische Untersuchungen zum Brustschwimmen von Menschen ohne Behinderung .....	58
Tabelle 3. Oberflächenelektromyografische Untersuchungen zum Brustschwimmen von Menschen mit Behinderung.....	63
Tabelle 4. Bezeichnungen der Schwimmdisziplinen und deren Einteilung je nach Kategorie der Behinderung.....	65
Tabelle 5. Angewandte Testformen zur Klassifizierung der individuellen Merkmale und funktionellen Fähigkeiten der Athleten (nach I.P.C. Swimming, 2005) .....	66
Tabelle 6. Individuelle Charakteristik der untersuchten Athleten/-innen .....	80
Tabelle 7. Fehlerberechnung der Zeitkennwerte auf der Belastungsstufe $\pm 0$ N am Beispiel des Athleten A-SB8-2.....	88
Tabelle 8. Fehlerberechnung der Phasenstrukturquotienten Arm und Bein des Athleten A-SB8-2.....	88
Tabelle 9. Fehlerberechnung der Wegkennwerte am Beispiel des Athleten A-SB8-2 .....	89
Tabelle 10. Fehlerberechnung der Frequenzkennwerte am Beispiel des Athleten A-SB8-2.....	89
Tabelle 11. Beidseitig abgeleitete antriebsrelevante Muskeln.....	91
Tabelle 13. Bewegungsfunktion des Arm- und Beinantriebs in den Brustschwimmphasen ...	92
Tabelle 12. Bewegungsfunktion bei der Oberflächenelektromyografie zu den paarig abgeleiteten Muskeln und deren Phasendominanz im Brustschwimmzyklus.....	92
Tabelle 14. Antriebsgestaltung (Schwimmtyp) der untersuchten Athleten zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	106
Tabelle 15. Ergebnisse der Zyklusfrequenz und des Zyklusweges von den Athleten der Startklassen SB6, SB7 und SB8 zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung .....	109

Tabelle 16. Ergebnisse der relativen Dauer der Hauptphase der Arm- und Beinbewegung der Athleten der Startklassen SB6, SB7 und SB8 zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	112
Tabelle 17. Ergebnisse der relativen Antriebspause Fuß-Hand und Hand-Fuß der Athleten der Startklassen SB6, SB7 und SB8 zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	116
Tabelle 18. Ergebnisse des $PSQ_{Hand}$ und des $PSQ_{Fuß}$ der Athleten der Startklassen SB6, SB7 und SB8 zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung .....	119
Tabelle 19. Ergebnisse der Koinzidenz des M. biceps brachii zum M. triceps brachii und des M. biceps femoris zum M. rectus femoris der rechten und linken Körperseite der Athleten der Startklassen SB6, SB7 und SB8 zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung.....	135
Tabelle 20. Rechts-Links-Vergleich zur Darstellung der muskulären Aktivität ausgewählter Muskeln anhand der mittleren Amplitude im Brustschwimmzyklus zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung von Athlet A-SB13-1 (SB13).....	141
Tabelle 21. Rechts-Links-Vergleich zur Darstellung der muskulären Aktivität ausgewählter Muskeln anhand der mittleren Amplitude im Brustschwimmzyklus zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung von Athlet A-SB8-2 (SB8).....	146

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

*„Die Klassifizierung bleibt ein heißes Eisen im Behindertensport. So wenige Klassen wie möglich (zur besseren Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit), so viele wie nötig (der Fairness den Athleten halber) – so lautet die derzeitige Zielrichtung. Grundsätzlich bemüht man sich, dass der Faktor Behinderung verstärkt in den Vordergrund gestellt wird. Folglich wird nach individuellen Bewertungssystemen gesucht, die Leistungen untereinander vergleichbar machen. Doch wird man damit den Menschen mit einer Behinderung gerecht? Zweck der Klassifizierung ist es, viele Menschen am Wettkampfsport zu beteiligen. Dieses Ziel sollte man bei allen Bemühungen nicht aus den Augen verlieren.“* (Strohkendl, 2004)

Die Klassifizierung besitzt in der Praxis des Leistungssports eine lang akzeptierte Tradition. Wer kennt nicht die Einteilungen nach Gewichtsklassen in der Schwerathletik, die Alterklassen von den Schülern bis zum Erwachsenen oder die Differenzierung zwischen Frauen und Männern? Die Einteilungen nach diesen Kriterien erscheinen so selbstverständlich, dass kaum jemand dahinter eine Klassifizierung entdeckt. Die angeführten Varianten der Klassifizierung verdeutlichen vor allem den Zweck: Es sollen demnach auch die Menschen zur aktiven Teilnahme am Wettkampfsport motiviert werden, die aufgrund körperlicher Nachteile keine Chance auf eine erfolgreiche Teilnahme hätten. Somit fasst die Anwendung von Klassifizierungssystemen die Teilnehmer einer Sportart in ähnliche Gruppen zusammen, sodass die Leistungen untereinander vergleichbar sind und sich die Chance vergrößert, gleichwertige und spannende Wettkämpfe zu erleben. Dies soll gewährleisten, dass lediglich gut trainierte und qualifizierte Athleten einen fairen Leistungsvergleich erhalten und zugleich einen interessanten Wettkampf liefern (Strohkendl, 2004).

Was für den Leistungs- und Wettkampfsport der Nichtbehinderten sehr plausibel und einfach erscheint, gestaltet sich für Menschen mit Behinderung sehr kompliziert und umfangreich. Gerade die Behinderungen, welche die Athleten beim Sport beeinflussen, sind unvergleichlich größer und vielfältiger. Sehgeschädigte und blinde Sportler haben ein anderes Handicap als Sportler mit Körperbehinderungen. Athleten mit Behinderungen an den unteren Extremitäten benutzen Prothesen oder einen Rollstuhl beim Sport. Selbst die Sportler mit Behinderungen der oberen Extremitäten bilden eine heterogene Gruppe, auch wenn die Beine bei allen voll funktionsfähig sind. Auch die Athleten mit spastischer Lähmung, bei denen die Koordination von Muskeln gestört ist, seien im gleichen Atemzug an dieser Stelle genannt.

Aufgrund der Vielfalt an Behinderungsarten ist für den Leistungssport von Menschen mit Behinderungen, d. h. für Athleten mit eindeutig erfassbarer Einschränkung der Leistungsfähigkeit, eine Klassifizierung innerhalb der Sportart unbedingt notwendig (Innenmoser, 2006). Nach McCann (1984, S. 78) wird dabei die Klassifizierung als ein „Untersuchungsprozess zur Bestimmung des Typs und des Grades der physischen Einschränkungen des teilnehmenden Athleten“ beschrieben. Somit bildet die Klassifizierung für den Leistungssport von Menschen mit Behinderung eine essenzielle Grundlage für die Durchführung von fairen Wettkämpfen, die innerhalb der Startklasse bzw. -gruppe nahezu gleiche Ausgangsbedingungen aller Athleten ermöglicht (Daly & Vanlandewijck, 1999; Jackson & Fredrickson, 1979; Sherrill, Adams-Mushett & Jones, 1986; Strohkendl, 1991).

Speziell für das Schwimmen erfolgte bis 1985 die Einteilung im Klassifizierungssystem nach Behinderungs- bzw. Schadensarten (vgl. Richter, Adams-Mushett, Ferrara & McCann, 1992). Auf dieser Grundlage traten lediglich Athleten mit gleicher Behinderung gegeneinander an (Daly & Vanlandewijck, 1999). Dies führte bei Wettkämpfen zu einer hohen Anzahl von Starts mit sehr geringer Teilnehmerzahl, die sich für Athleten und Zuschauer gleichermaßen als unattraktiv erwiesen. Erst die Einführung eines funktionellen Klassifizierungssystems (FCS) im Jahre 1989 reduzierte die bestehende Vielzahl an Schadensklassen auf zusammengefasste Startklassen (Daly & Vanlandewijck, 1999), was erstmals ein Konkurrieren mit unterschiedlichen Behinderungen innerhalb einer Startklasse ermöglichte. Dieses maßgeblich in Verantwortung der Arbeitsgruppe um Blomquist und schließlich durch das International Paralympic Comitee (IPC) unter Mithilfe der International Sports Organisation for the Disabled (ISOD), der International Stoke Mandeville Wheelchair Sport Federation (ISMWSF) und der Cerebral Palsy International Sports and Recreation Association (CP-ISRA) modifizierte „funktionale Klassifizieren“ bewertet die funktionelle Beeinträchtigung des Athleten durch numerische Einschätzung (Punktesystem) der vorliegenden individuellen Behinderung (vgl. Blomquist, 1984a, 1984b, 1984c, 1989; Dieme, 1988; Dummer, 1999; Richter et al., 1992).

Auf der Grundlage dieses FCS sollte somit der Erfolg bzw. die Niederlage alleinig vom Talent, dem Trainingszustand, den Leistungsfähigkeiten, der Fitness, der Motivation und nicht von unterschiedlichen funktionellen Beeinträchtigungen der Athleten abhängig sein (Vanlandewijck & Chappel, 1996).

Im Schwimmen von Menschen mit Behinderungen gilt das FCS nach einigen Modifizierungen<sup>1</sup> mittlerweile als etabliertes und anerkanntes Verfahren zur Klassifizierung (Green, 1991; Hainey, 1994; Riding, 1994; Wu & Williams, 1999; Wu, Williams & Sherrill,

---

<sup>1</sup> Zu Beginn der Weltmeisterschaften 1998 wurde zum Beispiel die Anzahl der Brustschwimmklassen von zehn auf neun reduziert (Daly & Vanlandewijck, 1999).

2000). Vor allem in der stark reduzierten Anzahl an Startklassen und der damit verbundenen gesteigerten Attraktivität der Wettkämpfe wird der wesentliche Vorteil gesehen (Green, 1991; Hainey, 1994). Dennoch besteht Kritik an den Durchführungsbedingungen und Bewertungsgrundlagen für eine faire Klassifizierung (Daly & Vanlandewijck, 1999; Richter, Adams-Mushett, Ferrara & McCann, 1992; Vanlandewijck & Chappel, 1996). Zwar weisen zahlreiche Untersuchungen (Daly & Vanlandewijck, 1999; Daly, Malone, Vanlandewijck & Steadward, 1999a, 1999b, 1999c; Daly, Malone, Smith, Vanlandewijck & Steadward, 2001; Daly, Malone, Smith, Vanlandewijck & Steadward, 2003; Djjobova, Mavromati & Daly, 2002; Malone, Daly & Steadward, 2000; Kunze & Schega, 2002, 2003, 2004; Pelayo, Sidney, Moretto, Wille & Chollet, 1999; Satkunskiene, Schega, Kunze, Birzinyte & Daly, 2005; Schega, Kunze & v. Welck, 2003) Abhängigkeiten zwischen der Schwimmleistung und der Startklasse nach, trotzdem ergeben sich durchaus kritische Aspekte. So sieht die Studie der Arbeitsgruppe Richter (1992) die Problematik des FCS vor allem in vier Bereichen: 1. der Physiologie (z. B. gleichbleibende physiologische Gegebenheiten für Amputierte einerseits und Veränderungen in der physiologischen Gegebenheit bei zerebralen Bewegungsgestörten andererseits), 2. der Schwimmtechnik (unterschiedliche Technikausführung), 3. der Objektivität (Verwendung von gleichen Muskelfunktionsverfahren für die verschiedenen Behinderungen) und 4. der Validität der Untersuchungsverfahren. Bereits die Arbeitsgruppen um Persyn (1975) und Strohkendl (1978) verwiesen auf die Besonderheiten einer Klassifizierung von Athleten mit verschiedenen Behinderungen und den damit verbundenen Schwierigkeiten, weil individuelle physiologische Voraussetzungen die Schwimmbewegung maßgeblich beeinflussen. Das gravierende Problem wird in benachbarten Startklassen gesehen (Wu & Williams, 1999). So zeigt die Untersuchung von Wu und Williams (1999), dass angrenzende Startklassen keine bzw. nur partiell signifikante Unterschiede bezogen auf kinematische Kennwerte (Schwimmzeit, Zyklusweg und -frequenz) aufweisen. Problematisch erscheint dabei, dass bei einigen niedrigeren Startklassen (höherer Grad an Behinderung) schnellere Schwimmzeiten registriert wurden als bei angrenzenden höheren Startklassen (z. B. S7-S8, SB3-SB4) (Daly & Vanlandewijck, 1999; Daly et al., 1999a, 1999b; Pelayo et al., 1996 und Malone et al., 2000). Dieser Umstand ist vor allem beim Brustschwimmen zu beobachten (Daly et al., 1999c). Auch weitere detaillierte Betrachtungen von zusätzlichen Variablen wie Startzeiten, Wendezeiten und Streckenverläufen (Daly et al., 2003; Djjobova et al., 2002), der passiven Widerstandskraft im Wasser (Kunze & Schega, 2002, 2003, 2004; Kunze, Schega & Daly, 2005), den IdC - Koordinationsindex (Satkunskiene et al., 2005) bzw. Betrachtungen von einzelnen Startklassen (Pabst, Schega & Daly, 2006; Schega, Pabst & Witte, 2003) bestätigen diese Ergebnisse, dass sich die angrenzenden Startklassen nur marginal voneinander abheben bzw. niedrige Startklassen bessere Schwimmzeiten als höhere Startklassen erzielen (Daly et al., 1999c). Daly und Vanlandewijck (1999) schlussfolgern daraus, dass scheinbar, speziell für das Brustschwimmen, das Ziel einer fairen Klassifizierung noch nicht erreicht wurde. Vermutlich kann der Grund in der komplexen Schwimmbewegung

und den daraus resultierenden verschiedenen Möglichkeiten für die Vortriebserzeugung gesehen werden.

Bei kritischer Auseinandersetzung mit den Inhalten der Untersuchungsergebnisse wird deutlich, dass bisher die Darstellung der Defizite einer fairen Klassifizierung im Brustschwimmen lediglich über ergebnisorientierte Kriterien erfolgte. Anhand der bisher zur Betrachtung herangezogenen herkömmlichen kinematischen Kennwerte wird ersichtlich, dass die Individualität der funktionellen Beeinträchtigungen und deren Einfluss auf die Brustschwimmbewegung bei der Erfassung nur eine untergeordnete Rolle spielen. Da die Brustschwimmbewegung lediglich als Ergebnis bzw. Resultat gesehen wird, bleiben die strukturellen Besonderheiten und Anteiligkeiten (u. a. Rechts-Links, Arm-Bein) für die Vortriebserzeugung im Unklaren. Zudem ist fraglich, inwiefern die individuellen funktionellen Beeinträchtigungen der Athleten infolge ansteigender Belastungen im Verlaufe des Wettkampfs zu Veränderungen in der Brustschwimmtechnik führen. Wird davon ausgegangen, dass die individuelle Behinderung maßgeblichen Einfluss auf die Brustschwimmbewegung ausübt und beanspruchungsbedingten Veränderungen unterliegt, scheint dazu der derzeitige Kenntnisstand defizitär. Bei bisherigen Untersuchungen zum Brustschwimmen von Menschen mit Behinderung wird als problematisch eingeschätzt, dass sie im Wesentlichen keine eindeutigen Informationen über die Leistungsfähigkeit der Athleten weder innerhalb noch zwischen den benachbarten Startklassen liefern können, auf deren Grundlage das FCS an Bedeutung gewinnen könnte.

Ein möglicher Ansatz zur Aufhellung der Fragestellung einer fairen Klassifizierung wird in der verbesserten Kenntnis der Brustschwimmbewegung von Menschen mit Behinderungen gesehen. Dazu wird eine bewegungsanalytische (2-D-Bewegungsanalyse) als auch eine neuromuskuläre Betrachtung (Oberflächenelektromyografie) der Brustschwimmbewegung und deren Koordination als notwendig erachtet. Diese Betrachtungsebenen sollen auf der Basis der individuellen funktionellen Beeinträchtigung zum Zeitpunkt der symptomlimitierten Ausbelastung Zusammenhänge und Unterschiede verdeutlichen, die sich innerhalb bzw. zwischen benachbarten Startklassen durch eine provozierte Wettkampfsituation ergeben können. Wird davon ausgegangen, dass Athleten einer Startklasse gleiche funktionelle Voraussetzungen aufweisen, ergeben die Brustschwimmbewegung und die notwendige Antriebsgestaltung ähnliche Ausprägungen in den erhobenen Kennwerten. Bei benachbarten Startklassen sollten sich hingegen Unterschiede zeigen, die eine deutliche Abgrenzung voneinander zulassen. Weiterhin wird anhand der individuellen Besonderheiten der Athleten die Kennzeichnung der vorhandenen Funktionalität als ein wesentlicher Baustein zur Untermalung des FCS betrachtet. Möglicherweise besitzen Athleten motorische Restfunktionen, die effektiv zur Vortriebserzeugung genutzt, aber durch das FCS nicht objektiv erfasst werden können.

Eine Recherche der Literatur zum gegenwärtigen Zeitpunkt zeigt keine Arbeit, die die Klassifizierung des Brustschwimmens auf der Basis der Brustschwimmbewegung und deren Koordination, im Bezug von der Startklasse zur funktionellen Beeinträchtigung, thematisiert. Einzig Studien der Arbeitsgruppe um Schega (Daly et al., 1999c; Daly et al., 2004; Schega, 1999, 2002a, 2002b; Schega & Jacobi, 2000; Schega & Mühlbauer, 2003; Schega et al., 2000, 2001b; Schega & Pabst, 2004a, 2004b, 2006), die sich im Sinne einer interdisziplinären Herangehensweise mit dem Schwimmen beschäftigt, gehen der Frage nach dem Einfluss der funktionellen Beeinträchtigung und deren beanspruchungsbedingtem Anpassungsverhalten nach. In den vorliegenden Untersuchungen konnten in schwimmartspezifischen Handlungen (Kraul- und Brustschwimmen) durch den simultanen Einsatz der Oberflächen-elektromyografie (OEMG) zur videogestützten Bewegungsanalyse (Schega & Scharf, 1999; Schega, Mühlbauer & Kunze, 2001) und durch eine komplexdiagnostische Erfassung differenzierte Aussagen zur schadensspezifischen Beurteilung der funktionellen Fähigkeiten getroffen werden. Ebenso konnten so Kompensations- und Variationserscheinungen (Schega & Pabst, 2004b), aber auch Differenzen der Teilantriebe (rechts-links oder Arm-Bein) veranschaulicht werden (Pabst & Schega, 2006). Die angeführten Untersuchungen zeigen Unterschiede in der muskulären Aktivität der beteiligten Muskeln im Rechts-Links-Vergleich für den einzelnen Athleten, aber auch zwischen den Athleten. Die Ergebnisse erklären auf der Grundlage der individuellen Leistungsvoraussetzungen die damit verbundene unterschiedliche Ausführungsgüte der Bewegungsaufgabe.

In Übertragung der vorliegenden Erkenntnisse lässt sich somit festhalten, dass eine simultane bewegungsanalytische und neuromuskuläre Betrachtung der Brustschwimmbewegung und deren Koordination erfolgen sollte, um objektive Hinweise der Athleten in Beziehung zur funktionellen Beeinträchtigung abzuleiten. Vor allem eine detaillierte Erfassung der muskulären Aktivität in Ergänzung zur bewegungsanalytischen Beschreibung der Brustschwimmbewegung soll schadensspezifische motorisch-funktionelle Besonderheiten und die damit verbundenen individuellen Leistungsfähigkeit der Athleten objektivieren.

## 1.2 Zielstellung der Arbeit

Ein wesentliches Ziel der Arbeit wird in der Kennzeichnung der individuellen Leistungsfähigkeit der untersuchten Athleten in Abhängigkeit ihrer funktionellen Beeinträchtigung gesehen, die sich zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung ergibt. Hierzu soll auf der Grundlage standardisierter Umgebungsbedingungen (Schwimmkanal) eine definierte Belastungssteigerung bis zum Abbruch der Testübung erfolgen. Die anzustrebende Ausbelastungssituation und das damit verbundene Ausschöpfen des gesamten Leistungspotenzials, vergleichbar einer Wettkampfsituation (Schega, 2004), gilt als unmittelbare Voraussetzung für eine vergleichende Einschätzung der individuellen Leistungsfähigkeit auf der Grundlage der funktionellen Beeinträchtigung der Athleten.