

**Thomas Abel**

# Energetische und leistungsphysiologische Untersuchungen im Rollstuhlsport

Unter besonderer Berücksichtigung  
präventivmedizinischer Aspekte

**Doktorarbeit / Dissertation**

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2002 Diplom.de  
ISBN: 9783832459512

**Thomas Abel**

# **Energetische und leistungsphysiologische Untersuchungen im Rollstuhlsport**

**Unter besonderer Berücksichtigung präventivmedizinischer Aspekte**



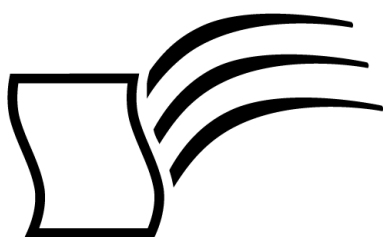
---

Thomas Abel

## **Energetische und leistungsphysiologische Untersuchungen im Rollstuhlsport**

*Unter besonderer Berücksichtigung präventivmedizinischer  
Aspekte*

**Dissertation / Doktorarbeit  
an der Deutschen Sporthochschule Köln  
Fachbereich Sportwissenschaft  
Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin  
2,5 Jahre Bearbeitungsdauer  
Juni 2002 Abgabe**



***Diplom.de***

Diplomica GmbH ———  
Hermannstal 119k ———  
22119 Hamburg ———

Fon: 040 / 655 99 20 ———  
Fax: 040 / 655 99 222 ———

agentur@diplom.de ———  
www.diplom.de ———

ID 5951

Abel, Thomas: Energetische und leistungsphysiologische Untersuchungen im Rollstuhlsport -  
Unter besonderer Berücksichtigung präventivmedizinischer Aspekte

Hamburg: Diplomica GmbH, 2002

Zugl.: Köln, Sporthochschule, Dissertation / Doktorarbeit, 2002

---

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH

<http://www.diplom.de>, Hamburg 2002

Printed in Germany

Sport und Bewegung wirken wie ein Medikament, das gleichzeitig den Sauerstoffbedarf des Herzens senkt und das Sauerstoffangebot erhöht, das Volumen der Mitochondrien vergrößert, die Kapillarisation erhöht, die Fließeigenschaften des Blutes verbessert und dadurch antithrombotisch wirkt, hochsignifikante Einflüsse auf den Lipid- und Kohlenhydratstoffwechsel hat, zum Beispiel den Insulinspiegel senkt und außerdem noch zum psychischen Wohlbefinden beiträgt.

Gäbe es ein Medikament mit diesen Wirkungen, es wäre das  
Medikament des Jahrhunderts.

(Wildor Hollmann)

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Fragestellung	12
3	Methodik	13
3.1	Energieverbrauch beim Rollstuhlsport	13
3.1.1	Untersuchungsteilnehmer	13
3.1.1.1	Rollstuhl-Rugby	14
3.1.1.2	Rollstuhl-Tennis	16
3.1.1.3	Rollstuhl-Basketball	17
3.1.1.4	Rennrollstuhlfahren	18
3.1.1.5	Handbiken	20
3.1.2	Untersuchungsablauf	21
3.1.2.1	Messung des Energieumsatzes unter Ruhebedingungen	22
3.1.2.2	Messung des Energieverbrauchs unter Belastungsbedingungen	24
3.1.2.3	Berechnung des Energieverbrauchs mit Hilfe der indirekten Kalorimetrie	26
3.2	Leistungsphysiologie im Handbiken und Rennrollstuhlfahren	27
3.2.1	Untersuchungsteilnehmer	27
3.2.2	Untersuchungsablauf	28
3.2.2.1	Ergometerstufentest im eigenen Handbike als Gleichzug oder Wechselzug	31
3.2.2.2	Rollbandstufentest im Rennrollstuhl	33
3.2.2.3	Dauertest	34
3.2.3	Analytische Methoden	35
3.2.3.1	Meßmethode Körperfettwerte	35
3.2.3.2	Blutbilder und blutchemische Werte	36
3.2.3.3	Katecholamine im Blut	37
3.2.3.4	Katecholamine im Urin	38
3.3	Bestimmung der Laktatkonzentration	38
3.4	Messung der Herzfrequenzen	39
3.5	Statistik	40
3.5.1	t-Test für abhängige Stichproben	40
3.5.2	Varianzanalyse	41
3.5.3	Korrelation und Regression	41



3.6	Verwendete Geräte	42
4	Untersuchungsergebnisse	44
4.1	Energieverbrauch im Rollstuhlsport	44
4.1.1	Energieumsatz unter Ruhebedingungen	44
4.1.1.1	Absoluter Energieverbrauch	44
4.1.1.2	Relativer Energieverbrauch	45
4.1.1.3	Respiratorischer Quotient	47
4.1.1.4	Korrelation zwischen Energieverbrauch und Lokalisation der Schädigung	48
4.1.1.5	Korrelation zwischen relativem Energieverbrauch und Lokalisation der Schädigung bei kompletter Lähmung	48
4.1.2	Energieumsatz unter Belastungsbedingungen	49
4.1.2.1	Arbeitsumsatz	49
4.1.2.2	Absoluter belastungsbedingter Energieumsatz	51
4.1.2.3	Relativer belastungsbedingter Energieumsatz	52
4.1.2.4	Metabolische Einheiten (METs)	53
4.1.2.5	Respiratorischer Quotient	55
4.1.2.6	Herzfrequenz	56
4.1.2.7	Blutlaktatkonzentration	57
4.1.2.8	Korrelation zwischen relativem belastungsbedingten Energieumsatz und der Lokalisation der Schädigung	59
4.1.2.9	Korrelation zwischen relativem belastungsbedingten Energieumsatz von Athleten mit einer kompletten Lähmung und der Lokalisation der Schädigung	59
4.1.2.10	Korrelation zwischen Herzfrequenzwerten und der Lokalisation der Schädigung	60
4.1.2.11	Korrelation zwischen Herzfrequenzwerten von Athleten mit einer kompletten Lähmung und der Lokalisation der Schädigung	61
4.2	Übersicht der Mittelwerte des Energieverbrauchs	63
4.3	Leistungsphysiologische Aspekte im Handbiken und Rennrollstuhlfahren	64
4.3.1	Vergleich verschiedener Zugformen beim Handbiken	64
4.3.1.1	Maximale Wattleistung beim Gleich- und Wechselzugtest	64
4.3.1.2	Maximale Herzfrequenzen beim Gleich- und Wechselzugtest	65
4.3.1.3	Maximale Laktatwerte beim Gleich- und Wechselzugtest	66
4.3.1.4	Maximale Sauerstoffaufnahme beim Gleich- und Wechselzugtest	66

4.3.1.5 Herzfrequenzen bei definierten Wattleistungen	67
4.3.1.6 Laktatkonzentrationen bei definierten Wattleistungen	69
4.3.1.7 Sauerstoffaufnahme bei definierten Wattleistungen	70
4.3.1.8 Respiratorischer Quotient bei definierten Wattleistungen	71
4.3.2 Verhalten der Plasmakatecholamine und der Katecholaminausscheidung beim Handbiken und Rennrollstuhlfahren	72
4.3.2.1 Katecholaminkonzentrationen im Plasma	72
4.3.2.2 Katecholaminkonzentrationen im Urin	74
4.3.2.3 Korrelation zwischen den NoradrenalinKonzentrationen im Plasma und der Läsionshöhe	76
4.3.2.4 Korrelation zwischen den AdrenalinKonzentrationen im Plasma und der Läsionshöhe	77
4.3.2.5 Korrelation zwischen den Dopaminkonzentrationen im Plasma und der Läsionshöhe	78
4.3.2.6 Korrelation zwischen den NoradrenalinKonzentrationen im Urin und der Läsionshöhe	79
4.3.2.7 Korrelation zwischen den AdrenalinKonzentrationen im Urin und der Läsionshöhe	80
4.3.2.8 Korrelation zwischen den Dopaminkonzentrationen im Urin und der Läsionshöhe	81
4.3.3 Überprüfung von Trainingsempfehlungen im Dauertest beim Handbiken und Rennrollstuhlfahren	82
4.3.3.1 Herzfrequenzen	83
4.3.3.2 Laktatkonzentrationen	87
4.3.3.3 Sauerstoffaufnahme	91
4.3.3.4 Respiratorischer Quotient	94
4.3.3.5 Energieverbrauch	97
5 Diskussion	101
5.1. Energieumsatz unter Ruhebedingungen	101
5.1.1 Energieverbrauch	101
5.1.2 Respiratorischer Quotient	104
5.1.3 Korrelation der Energieverbrauchswerte mit der Lokalisation der Schädigung	105
5.2 Energieumsatz unter Belastungsbedingungen	106
5.2.1 Arbeitsumsatz	107

5.2.2 Absoluter und relativer belastungsbedingter Energieumsatz	112
5.2.3 Metabolische Einheiten (METs)	113
5.2.4 Respiratorischer Quotient	114
5.2.5 Herzfrequenz	116
5.2.6 Laktatkonzentration	119
5.2.7 Korrelation zwischen dem relativen belastungsbedingten Energieumsatz und der Läsionshöhe	121
5.2.8 Korrelation zwischen der Herzfrequenz und der Läsionshöhe	123
5.3 Leistungsphysiologische Aspekte: Handbiken und Rennrollstuhlfahren	123
5.3.1 Vergleich verschiedener Zugformen beim Handbiken	123
5.3.1.1 Maximale Wattleistung beim Gleich- und Wechselzugtest	124
5.3.1.2 Maximale Herzfrequenzen beim Gleich- und Wechselzugtest	126
5.3.1.3 Maximale Laktatwerte beim Gleich- und Wechselzugtest	126
5.3.1.4 Maximale Sauerstoffaufnahme beim Gleich- und Wechselzugtest	127
5.3.1.5 Herzfrequenzen bei definierten Wattleistungen	127
5.3.1.6 Laktatkonzentrationen bei definierten Wattleistungen	128
5.3.1.7 Sauerstoffaufnahme bei definierten Wattleistungen	129
5.3.1.8 Respiratorischer Quotient bei definierten Wattleistungen	130
5.3.2 Katecholamine beim Handbiken und Rennrollstuhlfahren	130
5.3.2.1 Katecholamine unter Ruhebedingungen und beim Stufentest	131
5.3.2.2 Korrelation zwischen den Katecholaminwerten und der Läsionshöhe	133
5.3.3 Überprüfung von Trainingsempfehlungen im Dauertest beim Handbiken und Rennrollstuhlfahren	134
5.3.3.1 Herzfrequenzen und Laktatkonzentrationen	135
5.3.3.2 Sauerstoffaufnahme und Respiratorischer Quotient	138
5.3.3.3 Energieverbrauch	140
6 Zusammenfassung	142
Literatur	150
Danksagung	161
Lebenslauf	162
Anhang	I

# Verzeichnis der Abkürzungen

a.a.O.	am angegebenen Ort
Abb.	Abbildung
AF	Atemfrequenz
ANOVA	Einfaktorielle Varianzanalyse (analysis of variance)
bzw.	beziehungsweise
BTPS	Body temperature (BT), pressure (P), saturated (S). Umrechnung in der Spirometrie zur Vergleichbarkeit von Werten aus unterschiedlichen Orten mit unterschiedlichen Höhen- und Klimabedingungen. Standard: 37 °C, 760 mm Hg, 100 % Luftfeuchtigkeit (63)
C <sub>1-8</sub>	Bezeichnung der Läsionshöhe der Querschnittlähmung im Bereich des Halsmarks (Cervikalbereich)
ca.	circa
cm	Zentimeter
d	Tag (day)
EE	Energieverbrauch (energie expenditure)
EKG	Elektrokardiographie
EMG	Elektromyographie
Fa.	Firma
FO	Fettsäureoxidation auch Beta (β)-Oxidation
°C	Grad Celsius (Körpertemperatur)
h	Stunde (hour)
h.s.	hoch signifikant
HF	Herzfrequenz
Kcal	Kilokalorien
kcal/h/kgKg	Kilokalorien pro Stunde pro Kilogramm Körpergewicht
Kg	Körpergewicht
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
La	Laktatwert im Blut, auch [lac]
m	Meter
MANOVA	Mehrfaktorielle Varianzanalyse (multifactoral analysis of variance)
MET	Metabolische Einheit oder Metabolical Unit ( $\dot{V}O_2/kgKG/3,5$ )
µl	Mikroliter ( $10^{-6}l$ )
M.	Muskel
m/s	Meter pro Sekunde
min	Minute
ml	Milliliter ( $10^{-3}l$ )
mmol/l	Millimol ( $10^{-3}mol$ ) pro Liter
mol	Stoffmenge
n	Probandenanzahl

n.s.	nicht signifikant
Nr.	Nummer
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
OS A	Oberschenkelamputation
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
% FO	Prozentualer Anteil der Fettsäureoxidation
rpm	Umdrehungen pro Minute (rounds per minute)
RQ	Respiratorischer Quotient (CO <sub>2</sub> -Abgabe/O <sub>2</sub> -Aufnahme)
SD	Standardabweichung, auch ±
S.	Seite
s.	siehe
sig.	signifikant
s.a.	siehe auch
s.u.	siehe unten
S/min	Schläge pro Minute
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
$\dot{V}CO_2$	Kohlendioxidabgabe in Millilitern pro Minute
$\dot{V}_E$	Ventilation in Litern pro Minute
$\dot{V}O_2$	Sauerstoffaufnahme in Millilitern pro Minute
$\dot{V}O_{2max}$	maximale Sauerstoffaufnahme
$\dot{V}O_{2max/kgKg}$	maximale Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht
vs.	versus
Watt/kgKg	Watt pro Kilogramm Körpergewicht
$\bar{x}$	Mittelwert
z.B.	zum Beispiel

## 1 Einleitung

Präventivmedizinische Konzeptionen, welche die Situation von Menschen mit einer Rückenmarkserkrankung oder -verletzung berücksichtigen und auf systematischen Untersuchungen basieren, sind vor dem Hintergrund einer obligaten Kostenreduktion im Gesundheitswesen von großer Bedeutung. Die besondere Relevanz dieser Konzeptionen erschließt sich allerdings auch, weil für die Betroffenen neben der Rehabilitation zunehmend die individuelle Veränderung und Verbesserung der Lebenssituation und -qualität – in ihrer engen Verbindung mit der Prävention von sekundären Erkrankungen – in den Fokus des Interesses rückt (1, S.107;37;38;104). Dieser Wandel zur Selbstbestimmtheit und Eigenverantwortlichkeit impliziert eine Betonung der individuellen Kompetenzen und Ressourcen der betroffenen Menschen, die in ihrer Bildung auch auf Information angewiesen sind. Ziel aller – auch sportwissenschaftlichen und sportmedizinischen – Bestrebungen muss es deshalb sein, nicht nur die Integration in die Gesellschaft zu ermöglichen, sondern vor allem die selbstbestimmte, aktive Teilhabe in allen Bereichen unserer Gesellschaft nicht zu behindern. Diese Zielsetzung ist mittlerweile im Sozialgesetzbuch (SGB IX, § 1) gesetzlich festgeschrieben (130). Voraussetzung dieser hoffentlich sehr fruchtbaren Neuorientierung waren geradezu revolutionäre Veränderungen in der Behandlung und Versorgung von Menschen mit einer Rückenmarkserkrankung in der letzten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Funktionelle Konzepte in der Behandlung von Menschen mit einer traumatischen Querschnittlähmung stellten nach dem Zweiten Weltkrieg eine segensreiche Veränderung für die Betroffenen dar. Durch die von GUTTMANN entwickelte funktionelle Therapie in Kombination mit den Errungenschaften der modernen Medizin wurde die Mortalitätsrate eindrucksvoll reduziert (53). BUCK & BECKERS (1993) konnten anhand von Literatursichtungen und Praxisbeispielen aufzeigen, dass sich bis zur Mitte des vergangenen Jahrhunderts für die Betroffenen keinerlei positive Lebensperspektive bot (20, S.2):

- „Vom 30. Jahrhundert vor Christus bis zum 20. Jahrhundert nach Christus blieben die Überlebenszahlen fast konstant:
- Innerhalb von 2 Jahren waren nahezu alle Patienten mit einer Tetraplegie verstorben.
- Von den Patienten mit einer Paraplegie (inkl. tiefe und inkomplette Läsion) starben 40-60 %.
- Für alle Querschnittgelähmten betrug die Mortalität innerhalb von drei Monaten 60 % und nach zwei Jahren 80 %.”

Erst die neuen, funktionell orientierten Therapiekonzeptionen, die GUTTMANN nicht zuletzt entwickelte, weil aufgrund des Zweiten Weltkriegs der Bedarf an Therapie und Pflege für querschnittgelähmte Menschen exponentiell zunahm, brachte eine Verbesserung dieses Zustands. Der neue Weg in der Behandlung der Verletzten lag für GUTTMANN einerseits darin, fachliche Kompetenz in speziellen Zentren zur Behandlung von Rückenmarksschädigungen zu bündeln und andererseits eine Mobilisierung der Betroffenen anzustreben, um die erhaltenen Funktionen zu trainieren (52). Dies stand im krassen Gegensatz zur üblichen Einschätzung einer Querschnittlähmung als therapieresistente Erkrankung, mit der zwangsläufig Bettlägerigkeit und Pflegebedürftigkeit verbunden waren und deren Prognose, wie dargestellt, als infaust angesehen wurde. In der Mobilisation der Betroffenen lag für GUTTMANN der Schlüssel zur Vermeidung von Sekundärschädigungen wie Druckgeschwüren und bedrohlichen vegetativen Störungen sowie zur Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und der Aufarbeitung von psychologischen Problemen, die sich durch die Verletzung bedingen. GUTTMANN formulierte dies 1973 folgendermaßen (54):

“Every person who has suffered severe injury or illness develops certain adverse psychological reactions – he loses activity of mind, self-confidence, self-respect and self-dignity. He resigns into his disability and becomes self-centred and anti-social. Nothing can prevent and counteract these adverse psychological reactions more than two measures: regular work and sport.”

Sport beinhaltete für GUTTMANN dabei die planvolle Fortführung der krankengymnastischen Therapie in der Frühphase der Behandlung, um eine häusliche, soziale und berufliche Rehabilitation zu erreichen (20, S.16). Heute entspricht die Lebenserwartung von Menschen mit einer paraplegischen Querschnittlähmung nahezu der Lebenserwartung von „Fußgängern“, für Menschen mit einer tetraplegischen Lähmung ist die Lebenserwartung um etwa fünf Jahre vermindert (36, S.15). An dieser überaus positiven Entwicklung haben sportbezogene Konzeptionen maßgeblichen Anteil. Neben der quantitativen Lebensverlängerung ist mit der sportlichen Aktivität für viele Betroffene eine enorme Steigerung der Lebensqualität und insbesondere der Mobilität verbunden. In umfangreichen Studien konnte belegt werden, dass zwischen der Lebensqualität und der Mobilität von Menschen mit einer Rückenmarkserkrankung oder -verletzung eine enge Korrelation besteht (2;9;34;67;104;149;150;155). Das Training von innervierbaren Muskeln erhöht die körperlichen Ressourcen, auf die es im Alltag eines Menschen im Rollstuhl bei den häufigen Transfers oder dem Umgang mit dem Rollstuhl ankommt, steigert die Möglichkeit zu selbstbestimmtem Handeln und vergrößert die

Unabhängigkeit. So konnte bei einem im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführten Dauertest ein Athlet mit einer Halsmarkschädigung ohne Hilfe, nur unter Nutzung der Arme aus seinem Alltagsrollstuhl in sein Handbike gelangen, das bereits auf dem 70 cm hoch stehenden Rollband mit seitlichem Geländer fixiert war. Dieser Transfer würde den meisten durchschnittlich trainierten Sportstudierenden kaum oder nur unter großen Mühen gelingen. Dabei entscheiden schon kleine Unterschiede in der Leistungsfähigkeit über die Selbständigkeit im Alltag. JANSSEN et al. (1996) zeigten, dass sportliches Training und eine damit verbundene Leistungssteigerung um 5-10 Watt im Rollstuhlergometertest auf einem relativ niedrigen Leistungsniveau (15-40 Watt) bereits die Selbständigkeit im Alltag möglich machen kann. Umgekehrt kann ein Absinken der Leistungsfähigkeit um 5-10 Watt schon die völlige Abhängigkeit und Pflegebedürftigkeit bedeuten (73). SCHÜLE et al. (2001) wiesen nach, dass tetraplegisch geschädigte Menschen, die Sport betreiben (Rugby), sich in der Bewältigung von 10 exemplarischen Aktivitäten des täglichen Lebens signifikant von nicht Sport betreibenden Menschen dahingehend unterschieden, dass eine wesentlich größere Selbständigkeit erreicht wurde (126).

Sportliche Aktivitäten stellen somit eine fruchtbare Schnittstelle zwischen der Rehabilitation von Menschen mit einer Rückenmarkserkrankung einerseits und der Prävention von Sekundärschäden, verbunden mit einer Erhöhung der Lebenserwartung sowie einer Steigerung der Lebensqualität andererseits dar. Dabei waren es immer wieder auch leistungssportlich orientierte Athleten<sup>1</sup>, die durch ihr systematisches Training und häufig gegen den Rat vermeintlicher Experten deutlich machen konnten, welch großes körperliches Potenzial im „Athleten der oberen Extremität“ steckt, womit sie wiederholt Anreiz und Inspiration für ähnlich Betroffene wurden. Neuere Untersuchungsergebnisse machen allerdings deutlich, dass mit der gestiegenen Lebenserwartung das Risiko für Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems erheblich zunimmt (32). Hierdurch entsteht auf Seiten der Sportwissenschaften und Sportmedizin erheblicher Handlungsbedarf. Dies gilt insbesondere, da Rollstuhlsportler in der Einschätzung ihrer sportlichen Aktivität häufig wesentliche Auswirkungen ihres Sports in Bezug auf das Vermeiden von Erkrankungen des kardiovaskulären Systems erwarten (1, S. 107). Diese Selbsteinschätzung kann für Rollstuhlsportler zum gegenwärtigen Zeitpunkt seitens der Sportwissenschaft und Sportmedizin nicht hinreichend bestätigt werden.

---

<sup>1</sup> Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird aus Gründen einer besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Dies soll ausdrücklich nicht als Diskriminierung von Frauen und an den Untersuchungen beteiligten Athletinnen verstanden werden.



---

## Präventivmedizinische Aspekte

Im Wesentlichen fußen die meisten präventivmedizinischen Konzeptionen auf umfangreichen Längsschnittuntersuchungen über den Zusammenhang zwischen dem zusätzlichen Energieverbrauch durch körperliche Aktivität einerseits und der Mortalitäts- und Morbiditätsrate andererseits (13-15;40;84;93;94;98;100;115;146). Aus diesen Erhebungen lassen sich entsprechende Empfehlungen für Sport und körperliche Aktivität ableiten, die das Risiko einer Herz-Kreislauf-Erkrankung minimieren. So empfiehlt das American College of Sports Medicine (ACSM) für nichtbehinderte Menschen regelmäßige körperliche Aktivität an mindestens drei bis fünf Tagen pro Woche für etwa 20-60 Minuten in Abhängigkeit von der Intensität der Aktivität, die als ausdauerbetonter Sport durchgeführt werden sollte (7). Nach der Harvard alumni Studie führt ein zusätzlicher wöchentlicher Energieverbrauch von 2000 bis 2500 kcal respektive einem täglichen zusätzlichen Energieverbrauch von etwa 300 bis 350 kcal dazu, die Wahrscheinlichkeit eines Myokardinfarktes zu minimieren (98). An diesen Empfehlungen und Studien orientiert sich auch die Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP) in ihren 10 goldenen Regeln für gesundes Sporttreiben (33). Voraussetzung für die Möglichkeit zur Umsetzung dieser Vorgaben im alltäglichen Leben sind allerdings Quantifizierungen des Energieverbrauchs von körperlichen Aktivitäten, wie sie im Bereich der Nichtbehinderten für nahezu alle denkbaren körperlichen Aktivitäten existieren (5).

Für Menschen, die hinsichtlich ihrer Mobilität vom Rollstuhl abhängig sind, existieren derartige Empfehlungen nicht. Ursächlich ist dies darauf zurückzuführen, dass keine experimentellen Quantifizierungen des Energieverbrauchs vorliegen und systematische, prospektive Längsschnittuntersuchungen hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dem Energieverbrauch und der Herz-Kreislauf-Mortalität und -Morbidität dementsprechend noch nicht durchgeführt werden konnten. Untersuchungen des Energieverbrauchs bei verschiedenen Rollstuhlportarten sind somit zwingende Voraussetzung zur Überprüfung der dargestellten Wechselwirkungen. Dies gilt auch im Hinblick auf die Vorgabe von präventivmedizinischen Empfehlungen. Vor dem Hintergrund der gestiegenen Lebenserwartung und dem erhöhten Risiko für Erkrankungen des atherogenen Formenkreises aufgrund des gezwungenermaßen bewegungsarmen Lebensstils sind solche Untersuchungen von elementarer Bedeutung (62;74;117;155). Die vorliegende Arbeit versucht diese Lücke zu schließen, indem der Energieverbrauch wesentlicher, klassischer Rollstuhlportarten systematisch mit Hilfe der indirekten Kalorimetrie quantifiziert wurde. Diese zum Teil sehr aufwendigen Untersuchun-

gen wurden mit leistungs- und breitensportlich orientierten Athleten durchgeführt. Bei der Gruppe der Handbiker und der Rennrollstuhlfahrer war es darüber hinaus möglich, umfangreiche trainingsrelevante Untersuchungen mit den Erhebungen des Energieverbrauchs zu verknüpfen.

### **Leistungsphysiologische Aspekte**

Während im Leistungssport der Fußgänger positive Beziehungen zum rehabilitativ-präventiv betriebenen Sport zunehmend konterkariert werden, überwiegen im Bereich des Rollstuhlsports die fruchtbaren Synergien. Eine Vielzahl der technischen Verbesserungen der Alltags- und Sportrollstühle sind auf Entwicklungen aus dem Bereich des Wettkampfsports zurückzuführen. Die Entwicklung von Sportarten, die Modifikationen des Regelwerks, aber auch Erarbeitungen von Klassifikationskonzeptionen sind wesentlich durch aktive Leistungssportler gestaltet und vorgenommen worden. Darüber hinaus sind viele Möglichkeiten des Sporttreibens erst von gut trainierten Wettkampfsportlern demonstriert worden. Dies gelang häufig gegen Widerstände auf Seiten der vermeintlichen, nicht betroffenen Experten. Beispielsweise wurde Menschen mit einer tetraplegischen Lähmung die Teilnahme an Marathonveranstaltungen wegen der Gefahr einer Überbelastung und Hyperthermie so lange verboten, bis ein gut vorbereiteter Athlet die Strecke erfolgreich absolvierte. In der vorliegenden Arbeit wurden neben den aus präventivmedizinischen Gesichtspunkten bedeutsamen Messungen des Energieverbrauchs, für die Gruppe der Handbiker und die Gruppe der Rennrollstuhlfahrer, leistungsphysiologische Untersuchungen durchgeführt, um der beschriebenen fruchtbaren Vernetzung zwischen rehabilitativ-präventivem Sport und Leistungssport Rechnung zu tragen

Beim Handbike erfolgt der Antrieb über zwei Kurbeln, die über einen Ketten- oder Riemenantrieb mit dem Vorderrad eines dreirädrigen Fahrrads verbunden sind. Die Anordnung der Kurbeln kann sowohl synchron (parallel) als auch asynchron (versetzt um  $180^\circ$ ) gewählt werden. Von den Athleten wird nahezu ausschließlich die synchrone Anordnung gefahren, da diese ein besseres Lenkverhalten des Bikes gewährleistet. In der Literatur liegen allerdings widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich des Wirkungsgrades der beiden Zugformen vor (70;95). Aus diesem Grund wurden physiologische Reaktionen auf die beiden Zugtechniken insbesondere hinsichtlich der mechanischen Effizienz untersucht.

Kontrollen des Trainingszustands sowie die Empfehlung von Trainingsintensitäten aufgrund der Laktatkinetik gehören seit geraumer Zeit zum Standard der sportwissenschaftlichen und sportmedizinischen Praxis (58;76;89;129;132). Untersuchungen zur Übertragbarkeit dieser Konzeptionen in den Bereich der Athleten mit einer Rückenmarksverletzung oder -erkrankung liegen allerdings nur unzureichend vor (121). Aus diesem Grund wurde überprüft, inwieweit Trainingsempfehlungen, die von der fixen Laktatschwelle nach MADER et al. (1976) abgeleitet wurden, im simulierten Training auf dem Rollband die gewünschten metabolischen Intensitäten erzielten (89).

Das autonome Nervensystem spielt bei der Regulation von kardiovaskulären und pulmonalen Funktionen sowie beim Ablauf von metabolischen Prozessen eine wesentliche Rolle (123). Insbesondere die Veränderungen der Herzfrequenz und der Sauerstoffaufnahme unter Belastung werden durch aktivierende Einflüsse des sympathischen und hemmende Einflüsse des parasympathischen Nervensystems gesteuert (10, S.376;112;114). Stufenförmige Belastungen führen bei nichtbehinderten Menschen zu einer Stimulierung des peripheren sympathischen Systems – wobei dem zentralen Nervensystem die Steuerungsfunktion zukommt – und münden in einem exponentiellen Anstieg der Katecholaminkonzentrationen im Plasma (16, S.655;82). Eine komplette Querschnittlähmung führt zu einer Unterbrechung der absteigenden Bahnen vom Gehirn zum peripheren sympathischen Nervensystem. Als Resultat dieser Unterbrechung kommt es zu pathologischen Veränderungen der sympathischen Innervationsmuster und damit zu Veränderungen der kardiovaskulären und metabolischen Gesamtsituation in Ruhe und unter Belastungsbedingungen (41;44;66;134). Aus diesem Grund wurden die Katecholaminkonzentrationen der Rennrollstuhlfahrer und der Handbiker unter Ruhe- und Belastungsbedingungen untersucht.

Bei den meisten Probanden lag die Ursache der Rollstuhlabhängigkeit in einem traumatischen Ereignis, infolge dessen es zu einer Querschnittlähmung kam. Zum besseren Verständnis, besonders auch in Bezug auf die Veränderung hormoneller Parameter, wird das Schadensbild der traumatischen Querschnittlähmung an dieser Stelle ausführlicher dargestellt.