

Beate Köhler

Belastungscharakteristika breitensportlichen Fahrradfahrens

Erhoben beim Rennradfahren und Fahrradfahren im Alltag
sowie schwerpunktmäßig beim Mountainbiking, im
Vergleich zu fahrradergometrischen Daten

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 © 1999 Diplomica Verlag GmbH
ISBN: 9783832419684

Beate Köhler

Belastungscharakteristika Breitensportlichen Fahrrad- fahrens

**Erhoben beim Rennradfahren und Fahrradfahren im Alltag sowie
schwerpunktmäßig beim Mountainbiking, im Vergleich zu fahrradergome-
trischen Daten**

Beate Köhler

Belastungscharakteristika breitensportlichen Fahrradfahrens

*erhoben beim Rennradfahren und Fahrradfahren im Alltag
sowie schwerpunktmäßig beim Mountainbiking,
im Vergleich zu fahrradergometrischen Daten*

Dissertation

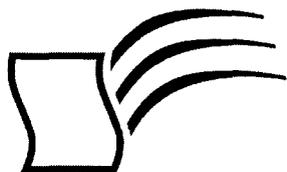
an der Deutschen Sporthochschule Köln

Prüfer Univ. Prof. Dr. med. W. Menke

Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin,

Lehrstuhl für Kardiologie und Sportmedizin

Juli 1999 Abgabe



***Diplomarbeiten* Agentur**

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey

Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke

und Guido Meyer GbR

Hermannstal 119 k

22119 Hamburg

agentur@diplom.de

www.diplom.de

ID 1968

Köhler, Beate: Belastungscharakteristika Breitensportlichen Fahrradfahrens: erhoben beim Rennradfahren und Fahrradfahren im Alltag sowie schwerpunktmäßig beim Mountainbiking, im Vergleich zu fahrradergometrischen Daten / Beate Köhler - Hamburg: Diplomarbeiten Agentur, 1999
Zugl.: Köln, Sporthochschule, Dissertation, 1999

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.

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey, Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke & Guido Meyer GbR
Diplomarbeiten Agentur, <http://www.diplom.de>, Hamburg
Printed in Germany



Diplomarbeiten Agentur

Wissensquellen gewinnbringend nutzen

Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

Wettbewerbsvorteile verschaffen – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

<http://www.diplom.de> bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

Individueller Service – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit

Ihr Team der Diplomarbeiten Agentur

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey –
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke —
und Guido Meyer GbR —————

Hermannstal 119 k —————
22119 Hamburg —————

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

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

Ich versichere hierdurch an Eides Statt, daß ich diese Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt habe. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht.

Beate Köhler

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Allgemeine Methodik | 5 |
| 2.1 Untersuchungsgut..... | 5 |
| 2.2 Untersuchungsgang..... | 5 |
| 2.2.1 Labortest..... | 6 |
| 2.2.2 Feldtest..... | 9 |
| 2.2.3 Fragebogen..... | 11 |
| 2.3 Apparaturbesprechung..... | 11 |
| 2.3.1 Verwendete Apparate und Utensilien im Labortest..... | 11 |
| 2.3.2 Verwendete Apparate und Utensilien im Feldtest..... | 12 |
| 2.3.2.1 Das SRM-Trainingssystem..... | 12 |
| 2.3.2.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip des SRM-Trainingssystems..... | 12 |
| 2.3.2.1.2 Auswertung der Daten des SRM-Powercontrols..... | 14 |
| 2.3.2.1.3 Meßgenauigkeit des SRM-Trainingssystems..... | 15 |
| 2.4 Statistik..... | 15 |
| 2.5 Generelle Auswertungshinweise für die einzelnen Teilstudien..... | 19 |
| 3. Darstellung der Teilstudien - Fragestellung, spezifische Methodik und Ergebnisdarstellung | 20 |
| 3.1 <i>Belastungscharakteristika beim Fahrradfahren von weiblichen und männlichen Personen unter Alltagsbedingungen.....</i> | <i>20</i> |
| 3.1.1 Fragestellung..... | 20 |
| 3.1.2 Methodik..... | 21 |
| 3.1.2.1 Untersuchungsgut..... | 21 |
| 3.1.2.2 Untersuchungsgang..... | 22 |
| 3.1.3 Ergebnisse..... | 22 |
| 3.1.3.1 Ergebnisse der Fahrradergometrie..... | 22 |
| 3.1.3.2 Ergebnisse der Felduntersuchung..... | 23 |
| 3.1.3.3 Relation von Fahrradergometrie- und Feldtestergebnissen..... | 32 |
| 3.1.3.4 Ergebnisse des Fragebogens..... | 38 |
| 3.2 <i>Belastungscharakteristika des Breitensportlichen Rennradfahrens bei weiblichen und männlichen Personen im Alternsgang.....</i> | <i>42</i> |
| 3.2.1 Fragestellung..... | 42 |
| 3.2.2 Methodik..... | 43 |
| 3.2.2.1 Untersuchungsgut..... | 43 |
| 3.2.2.2 Untersuchungsgang..... | 43 |
| 3.2.3 Ergebnisse..... | 44 |
| 3.2.3.1 Ergebnisse der Fahrradergometrie..... | 44 |
| 3.2.3.2 Ergebnisse der Felduntersuchung..... | 45 |
| 3.2.3.3 Relation von Fahrradergometrie- und Feldtestergebnissen..... | 55 |
| 3.2.3.4 Ergebnisse des Fragebogens..... | 62 |
| 3.3 <i>Belastungscharakteristika beim Mountainbiking von Breitensportlichen Männern im Alternsgang.....</i> | <i>68</i> |
| 3.3.1 Fragestellung..... | 68 |
| 3.3.2 Methodik..... | 69 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.3.2.1 | Untersuchungsgut | 69 |
| 3.3.2.2 | Untersuchungsgang | 70 |
| 3.3.3 | Ergebnisse | 70 |
| 3.3.3.1 | Ergebnisse der Fahrradergometrie | 70 |
| 3.3.3.2 | Ergebnisse der Felduntersuchung | 72 |
| 3.3.3.3 | Relation von Fahrradergometrie- und Feldtestergebnissen | 82 |
| 3.3.3.4 | Ergebnisse des Fragebogens | 88 |
| 3.4 | <i>Belastungscharakteristika beim Mountainbiking von Breitensportlichen Männern des 3. Lebensjahrzehnts auf einer definierten Teststrecke</i> | 95 |
| 3.4.1 | Fragestellung | 95 |
| 3.4.2 | Methodik | 95 |
| 3.4.2.1 | Untersuchungsgut | 95 |
| 3.4.2.2 | Untersuchungsgang | 96 |
| 3.4.3 | Ergebnisse | 96 |
| 3.4.3.1 | Ergebnisse der Fahrradergometrie | 96 |
| 3.4.3.2 | Ergebnisse der Felduntersuchung | 97 |
| 3.4.3.3 | Relation von Fahrradergometrie- und Feldtestergebnissen | 104 |
| 3.4.3.4 | Ergebnisse des Fragebogens | 109 |
| 3.5 | <i>Einfluß verschiedener Böden auf die Belastungsparameter beim Mountainbiking</i> | 115 |
| 3.5.1 | Fragestellung | 115 |
| 3.5.2 | Methodik | 115 |
| 3.5.2.1 | Untersuchungsgut | 115 |
| 3.5.2.2 | Untersuchungsgang | 116 |
| 3.5.3 | Ergebnisse | 117 |
| 3.5.3.1 | Ergebnisse der Felduntersuchung | 117 |
| 3.5.3.2 | Ergebnisse des Fragebogens | 123 |
| 3.6 | <i>Einfluß von Gewicht auf die Belastungsparameter beim Fahrradfahren</i> | 127 |
| 3.6.1 | Fragestellung | 127 |
| 3.6.2 | Methodik | 127 |
| 3.6.2.1 | Untersuchungsgut | 127 |
| 3.6.2.2 | Untersuchungsgang | 128 |
| 3.6.3 | Ergebnisse | 129 |
| 3.6.3.1 | Ergebnisse der Fahrradergometrie | 129 |
| 3.6.3.2 | Ergebnisse der Felduntersuchung | 129 |
| 3.6.3.3 | Relation von Fahrradergometrie- und Feldtestergebnissen | 131 |
| 3.6.3.4 | Ergebnisse des Fragebogens | 132 |
| 4. | Analyse der radfahrerspezifischen Literatur | 134 |
| 4.1 | <i>Prozentuale Anteile verschiedener Inhalte innerhalb eines Buches ausgesuchter radfahrerspezifischer Literatur</i> | 134 |
| 4.2 | <i>Analyse der radfahrerspezifischen Literatur hinsichtlich der Angaben zu Steuerungsparametern</i> | 135 |
| 4.3 | <i>Analyse der radfahrerspezifischen Literatur hinsichtlich der Differenzierung von Steuerungsparametern</i> | 142 |
| 4.4 | <i>Analyse der radfahrerspezifischen Literatur hinsichtlich Trainingsnormative und Trainingsinhalten</i> | 145 |
| 4.5 | <i>Analyse der radfahrerspezifischen Literatur hinsichtlich der Differenzierung von Trainingsnormative und Trainingsinhalten</i> | 150 |
| 4.6 | <i>Zusammenfassende Betrachtung</i> | 153 |

| | |
|---|------------|
| 5. Gesamtdiskussion der einzelnen Teilstudien unter übergeordneten Gesichtspunkten..... | 155 |
| 5.1 <i>Belastungscharakteristika breitensportlichen Fahrradfahrens ohne Intensitätsvorgaben von Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern im Vergleich.....</i> | 155 |
| 5.1.1 <i>Fahrradergometrisch erhobene maximale Leistungsfähigkeit von Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern</i> | 156 |
| 5.1.2 <i>Quantität der gewählten Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren von Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern in der Übersicht.....</i> | 160 |
| 5.1.3 <i>Leistung und Herzfrequenz beim breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern</i> | 163 |
| 5.1.4 <i>Tretfrequenzen beim breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern.....</i> | 173 |
| 5.1.5 <i>Relation von Leistung, Herzfrequenz und Tretfrequenz beim breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern.....</i> | 183 |
| 5.1.6 <i>Subjektives Belastungsempfinden in Relation zu den Belastungsparametern beim breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern</i> | 191 |
| 5.1.7 <i>Vergleich der Herzfrequenzen im Feld- und Fahrradergometertest bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern</i> | 197 |
| 5.2 <i>Einfluß interner Faktoren auf die Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren.....</i> | 201 |
| 5.2.1 <i>Einfluß des Alters auf die Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren im Vergleich zu fahrradergometrisch erhobenen Parametern.....</i> | 201 |
| 5.2.2 <i>Einfluß der Leistungsfähigkeit auf die Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren im Vergleich zu fahrradergometrisch erhobenen Parametern....</i> | 209 |
| 5.2.3 <i>Einfluß des Geschlechts auf die Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren im Vergleich zu fahrradergometrisch erhobenen Parametern.....</i> | 215 |
| 5.2.4 <i>Schlußfolgerung zum Einfluß des Alters, der Leistungsfähigkeit und des Geschlechts auf die Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren</i> | 221 |
| 5.3 <i>Einfluß äußerer Faktoren wie Böden und Gewicht auf die Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren.....</i> | 222 |
| 5.3.1 <i>Einfluß verschiedener Böden auf die Belastungsparameter beim breitensportlichen Mountainbiking.....</i> | 222 |
| 5.3.2 <i>Einfluß von Gewicht auf die Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren</i> | 226 |
| 5.4 <i>Gesundheitliche Einordnung der frei gewählten Belastungen beim breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern.....</i> | 229 |
| 5.5 <i>Sportpraktische Konsequenzen für das breitensportliche Fahrradfahren.....</i> | 238 |
| 5.6 <i>Ausblick.....</i> | 245 |
| 6. Zusammenfassung | 246 |
| 7. Literaturverzeichnis | 249 |
| 8. Abkürzungsverzeichnis | 263 |
| Nachwort | 266 |
| Lebenslauf | 267 |

I. Einleitung

Sport - insbesondere der Ausdauersport - hat bis zum heutigen Tag in der Primärprävention von Herz-Kreislaufkrankungen eine hohe Bedeutung erlangt.

In diesem Zusammenhang konnte, ausgehend von der Frage nach inhaltlicher Verknüpfung von der epidemiologischen Ausbreitung der koronaren Herzkrankheit und der fortschreitenden Technisierung und Automatisierung unserer Lebensformen (HOLLMANN et al. 1985b), in den bedeutsamen epidemiologischen Studien von MORRIS et al. (1980) und PAFFENBARGER (1978) ein deutlich geringeres koronares Risiko bei körperlich Aktiven, die Ausdauersport betrieben, nachgewiesen werden. BLAIR et al. (1989 und 1996) konnten dies in ihren sehr umfangreichen epidemiologischen Studien bestätigen und weiter differenzieren; sie fanden bei Personen mit einem höheren Fitneßzustand gegenüber Personen mit einem geringeren Fitneßzustand ein deutlich geringeres Risiko, frühzeitig zu versterben.

Auch ist die hohe protektive Wirkung eines regelmäßig durchgeführten sportlichen Trainings mit Beanspruchung der allgemeinen aeroben dynamischen Ausdauer auf das Herz-Kreislaufsystem und den Stoffwechsel Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Studien der letzten drei Jahrzehnte (u. a. AELLEN et al. 1993, BERG et al. 1991, BIERMANN/NEUMANN 1984, FREY et al. 1989, HEISS et al. 1977, HEITKAMP 1989, HOLLMANN et al. 1980 und 1983, LIESEN 1977, PFISTERER 1981, SCHMIDT et al. 1994).

Speziell für die klassische Ausdauersportart Fahrradfahren konnten PELLICCIA et al. (1983) eine hohe präventivmedizinische Wirksamkeit mittels einer Untersuchung an Amateurfahrradfahrern, die seit vielen Jahren ein wöchentliches Training von über 200 km mit dem Fahrrad absolvierten, nachweisbar dokumentieren.

Der protektiven Einflußnahme eines Ausdauertrainings dürfte in diesem Zusammenhang nach HOLLMANN et al. (1985b) eine weitaus größere Bedeutung zukommen als im Vergleich hierzu dem selektiv betrachteten Risikofaktor "Bewegungsmangel".

Beim Fahrradfahren handelt es sich aus der Sicht der präventiven Kardiologie um eine optimale Sportart, bei der mit einem Minimum an Organbelastung ein Maximum an gesundheitlich wünschenswerten Adaptationen zu erzielen ist. Auch wird während fahrradspezifischer Belastung die Aufnahme großer Sauerstoffmengen mit minimaler Blutdruckbelastung und erst spät einsetzender Milchsäurebildung gestattet. Das Fahrradfahren belegt in der Rangskala der optimalen Sportarten hinter dem Dauerlauf den zweiten Rang (HOLLMANN et al. 1983).

Auf das Individuum abgestimmte klar definierte Belastungsnormative vorausgesetzt lassen sich die protektiven Effekte einer Ausdauersportart - und somit auch des Fahrradfahrens - nach HOLLMANN et al. (1985b, 1987) und VÖLKER (1988) wie folgt zusammenfassen:

- ♦ Verbesserung der Leistungsfähigkeit, bzw. bei gleicher Leistung geringerer Sauerstoffbedarf
- ♦ Verringerung des myokardialen Sauerstoffbedarfs und dadurch Bildung einer Sicherheitszone gegenüber dem Auftreten eines Mißverhältnisses zwischen myokardialen Sauerstoffbedarf und -angebot

- ♦ Stabilisierung des Blutdrucks, zumindest Senkung eines labilen Hypertonus
- ♦ Verbesserung der Fließeigenschaften des Blutes durch die Abnahme der Rigidität der Erythrozyten sowie durch die verminderte Adhäsivität und Aggregabilität der Thrombozyten, infolge Reduzierung des Thromboserisikos
- ♦ Beobachtung positiver Effekte auf den Lipidstoffwechsel, Anstieg der HDL-Fraktion, Abnahme der LDL-Fraktion und der Neutralfette
- ♦ Vergrößerung der Insulin-Sensibilität mit erhöhter Glukosetoleranz und gesenktem Plasmainsulinspiegel
- ♦ Beobachtung positiver Effekte im Energiestoffwechsel, im Eiweißstoffwechsel und im Immunsystem
- ♦ Verminderte Neigung zum Auftreten von Extrasystolen
- ♦ Reduzierung von Streßreaktionen auf physischen und psychischen Streß
- ♦ Kompensation des Altersabbaus.

Das Fahrradfahren zeichnet sich durch eine gute Abstufbarkeit der Belastungsintensität mit einem Spektrum von minimaler Intensität beim Radeln bis hin zum Wettkampf mit maximaler Intensität aus. Eine Gangschaltung vermag diese Abstufbarkeit noch deutlich zu verfeinern. Weiterhin ist das Fahrradfahren auch für Übergewichtige und orthopädisch vorbelastete Personen gut geeignet, da das Körpergewicht vom Fahrrad getragen wird. Diese Argumente erheben das Fahrradfahren neben der hohen protektiven Wirksamkeit zu einer wichtigen und leicht zu praktizierenden Sportart im Bereich Prävention und Rehabilitation (VÖLKER 1987).

Im Bereich des Leistungssports liegen über das Fahrradfahren zahlreiche Untersuchungen mit trainingswissenschaftlichen oder sportmedizinischen Fragestellungen vor. Die verschiedenen Themenschwerpunkte werden im folgenden mit einer kleinen Auswahl an Literaturstellen aufgeführt.

Es finden sich Veröffentlichungen zur Trainingsmethodik (AMPLER 1987, KETTMANN 1987, MAYER 1989), zur Optimierung und Beeinflussung der Sprintleistung (BARNETT et al. 1994, BOGDANIS et al. 1994 und 1996, INGEN SCHENAU et al. 1994), zur anaeroben Kapazität bzw. Bestimmung und Veränderung der anaeroben Schwelle (CONCONI et al. 1988, GREEN et al. 1994, JASKOLSKI et al. 1988, TANAKA et al. 1993, WHITE/AL-DAWALIBI 1986), zur aeroben Leistungsfähigkeit (COCLE et al. 1988, HOPKINS/McKENZIE 1994, TANAKA et al. 1993, WHITE/AL-DAWALIBI 1986), zur Herzfrequenzreaktion (HUBER et al. 1980, PALMER et al. 1994, POTY et al. 1983), zur Bestimmung des maximalen Laktat-steady-states (BENEKE/DUVILLARD 1996, HOOGEVEEN et al. 1997) sowie zur Leistungsdiagnostik und zur Trainingskontrolle (BARBEAU et al. 1993, CRAIG et al. 1989, GREEN/DAWSON 1996, IWANOFF 1987, SINGH/MALHOTRA 1986, STOCKHAUSEN et al. 1994). Eine Vielzahl von Untersuchungen an leistungssportlichen Radfahrern beschäftigt sich mit dem Einfluß auf metabolische (EL-SAYED/RATTU 1996, HUBER et al. 1980, SJOEGAARD 1984), hormonelle (HOOGEVEEN/ZONDERLAND 1996, LOOPEZ CALBET et al. 1993), immunologische (BAJ et al. 1994) und rheologische (BERG et al. 1989, LAMPE et al. 1991) Parameter. Weiterhin liegen aus dem Leistungssportbereich Untersuchungen zum Einfluß äußerer Faktoren wie der Tageszeit (REILLY/BAXTER 1983), der Höhe (CAPELLI/PRAMPERO 1995, GORE et al. 1996, TAKEOKA et al. 1995, TERASAWA et al. 1995), der Windstärke (SWAIN 1997) oder der Umgebungstemperatur (POTTEIGER/WEBER 1994) auf verschiedene Parameter beim Rennradfahren vor.

Den sehr umfangreichen sportmedizinischen Untersuchungen an Fahrradfahrern im Leistungssportbereich stehen nur eine kleine Anzahl im Freizeitsportbereich gegenüber (BAAK/BINKHORST 1981, LIU 1982, OJA et al. 1988 und 1991, POKAN et al. 1991, WEILER et al. 1993, ZATKO 1995). Sportmedizinische Erhebungen speziell über die Art der Belastung und die Belastungsstruktur beim Breitensportlichen Fahrradfahren finden sich nur aus dem Arbeitskreis um Prof. VÖLKER (CHASSILIDIS 1993, KÖHLER 1987, LOYAL 1988, MARNOWSKY 1990, NAMSONS 1992). Die insgesamt relativ geringe Anzahl an fahrradfahrspezifischen Untersuchungen im Freizeitbereich überrascht um so mehr, als daß der Fahrradsport im Breitensport eine sehr hohe Bedeutung besitzt. So ist laut B.A.T Freizeit-Forschungsinstitut (OPASCHOWSKI/DUNCKER 1996) das "Fahrradfahren inklusive Mountainbiking" im Vergleich verschiedener Sportarten neben "Schwimmen bzw. Baden gehen" für 30 % der Gesamtbevölkerung die meist ausgeübteste Sportart.

Das Fahrradfahren ist bei genauerer Betrachtung keine einheitliche Sportdisziplin. Je nach aktueller Modewelle und Einsatzgebiet des Fahrrades haben sich Teildisziplinen wie u. a. BMX, Tourenradfahren, Rennradfahren auf der Bahn oder auf der Straße und Mountainbikefahren mit jeweils unterschiedlichster motorischer Beanspruchung entwickelt. Dennoch finden sich in der Fachliteratur keine sportmedizinischen Erhebungen, die den Einfluß der verschiedenen Teildisziplinen hinsichtlich unterschiedlicher physiologischer Beanspruchungen systematisch untersuchen.

Auch speziell über das Mountainbiking existieren nur vereinzelt wissenschaftliche Untersuchungen (ANTOINE et al. 1995, LEDL-KURKOWSKI et al. 1994, NIGGEHOFF 1994, PATTINI/SCHENA 1991, SEIFERT et al. 1997, SEWALL/FERNHALL 1995, WILBER et al. 1997).

Die nicht hinreichend sportmedizinisch erforschten Belastungscharakteristika beim Fahrradfahren im Freizeitsport, insbesondere bei verschiedenen Disziplinen, bedingen u. a., daß in der fachspezifischen Literatur dem freizeitsportlichen Radfahrer und speziell dem Mountainbikefahrer überwiegend nur relativ pauschale, auf trainingswissenschaftlichen Erfahrungen beruhende sowie disziplinenspezifische Hinweise zur Trainingssteuerung und -gestaltung angeboten werden. Letzteres zeigt eine Analyse spezifischer Fachbücher zum Fahrradfahren (Kapitel 4).

Auch der Versuch seitens des Deutschen Sportbundes und der Bundesärztekammer, über Aktionen wie "Trimming 130" und "Aktiv und Gesund" der Öffentlichkeit die Erkenntnisse von Radfahren als präventivmedizinisch wirksame Sportart näherzubringen und so für ein verändertes Gesundheitsbedürfnis zu sensibilisieren, brachte noch nicht den erhofften durchschlagenden Erfolg.

Daß jedoch eine Notwendigkeit einer gezielten Belastungssteuerung im Freizeitsport besteht, konnten VÖLKER et al. (1985) in einer Untersuchung an Läufern und Schwimmern belegen. So wählten diese im Mittel eine viel zu hohe Belastungsintensität, um präventivmedizinisch wirksame Anpassungen erzielen zu können. Bei einer Querschnittsuntersuchung an 66 freizeitsportlichen Fahrradfahrern hingegen konnte NAMSONS (1992) deutlich geringere Belastungsintensitäten entsprechend mittlerer Laktatwerte von knapp 4 mmol/l nachweisen. Der Grund für die beim Fahrradfahren im Vergleich zum Laufen und Schwimmen deutlich niedrigeren Laktatwerte könnte nach VÖLKER (1988) in einer mit höherer Intensität verbundenen höheren Fahrgeschwindigkeit liegen. Diese

scheine somit indirekt als Intensitätsbremse zu wirken. Es sei weniger anzunehmen, daß Radfahrer ein besseres Belastungsempfinden als andere Sportler hätten; denn beim Bergauffahren, wo die Geschwindigkeit kein begrenzender Faktor mehr ist, resultierten genau so hohe Belastungsintensitäten wie beim Laufen und Schwimmen (ders.). So besteht die Notwendigkeit einer gezielten Belastungssteuerung auch beim Fahrradfahren, insbesondere wenn die Belastungsintensität aufgrund äußerer Bedingungen wie Fahren am Berg oder auf Böden mit hohem Widerstand sehr schnell ansteigen kann.

Ausgangspunkt der vorliegenden sportwissenschaftlichen Untersuchung ist somit einerseits, daß den Erkenntnissen über die präventivmedizinische Wirksamkeit von Radfahren nur mangelnde konkrete und disziplinspezifische Hinweise zur Trainingssteuerung und -gestaltung gegenüberstehen, und andererseits, daß eine saubere grundlagenorientierte Arbeit über Belastungsstruktur und -charakteristik freizeitsportlichen Fahrradfahrens in der Literatur bis heute noch nicht vorliegt.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende grundlagenorientierte Arbeit mit dem Fahrverhalten verschiedener freizeitsportlich orientierter Kollektive (»Mountainbikefahrer«, »RennradfahrerInnen«, »AlltagsfahrradfahrerInnen«). Zudem wird der Einfluß verschiedener externer Faktoren wie unterschiedliche Böden und zusätzliche Gewichte auf die Belastungsparameter beim Fahrradfahren erörtert. Angestrebtes Ziel ist es, eine wissenschaftlich abgesicherte Grundlage über die Belastungscharakteristik freizeitsportlich ambitionierten Radfahrens zu erstellen.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Beantwortung folgender Fragen:

- ◆ Wie sieht das typische Belastungsprofil von breitensportlich ambitionierten Mountainbikefahrern und RennradfahrerInnen sowie männlichen und weiblichen Personen aus, die regelmäßig mit dem Fahrrad zur Arbeit fahren (AlltagsfahrradfahrerInnen)? Welche Leistung, Herzfrequenz, Tretfrequenz, Geschwindigkeit, Streckenlänge und Belastungsdauer wählen diese?
- ◆ In welcher Beziehung stehen die während der Feldtestfahrten erhobenen Parameter Leistung, Herzfrequenz und Tretfrequenz zueinander?
- ◆ Wie belasten sich breitensportliche Mountainbikefahrer und RennradfahrerInnen sowie Personen, die im Alltag mit dem Fahrrad fahren, während ihrer Feldtestfahrten in Relation zu fahrradergometrisch erhobenen Referenzwerten?
- ◆ Wie steht das subjektive Belastungsempfinden (RPE) von Mountainbikern, RennradfahrerInnen und AlltagsfahrradfahrerInnen im Verhältnis zu den objektiv erhobenen Parametern wie Leistung und Herzfrequenz während der Fahrradergometrie und wie Leistung, Herz- und Tretfrequenz während des Feldtests?
- ◆ Welchen Einfluß haben das Geschlecht, das Alter und die Leistungsfähigkeit auf die während der Feldtestfahrten erhobenen Parameter Leistung, Herzfrequenz und Tretfrequenz?
- ◆ Welchen Einfluß üben verschiedene Böden wie Straße, Feld-, Wald- und Wattboden auf die Belastungsparameter Leistung, Herzfrequenz, Tretfrequenz und Geschwindigkeit beim Mountainbiking aus?
- ◆ Welchen Einfluß üben unterschiedlich schwere Zusatzlasten beim Fahrradfahren auf die Belastungsparameter Leistung, Herzfrequenz, Laktat und RPE aus?

2. Allgemeine Methodik

Im folgenden werden die methodischen Aspekte dargestellt, die allen Teiluntersuchungen gemein waren. Spezifika hinsichtlich des Untersuchungsguts und des Untersuchungsablaufs der einzelnen Teilstudien sowie Abweichungen von der allgemeinen Methodik finden sich in den entsprechenden Kapiteln.

2.1 Untersuchungsgut

In 6 Teilstudien wurden insgesamt 221 Personen (45 Frauen, 176 Männer) verschiedener Altersgruppen untersucht. Die Anzahl der in den einzelnen Teilstudien untersuchten Probanden, jeweils für die Gesamtgruppe und differenziert nach Geschlecht, sind Abbildung 2.1-1 zu entnehmen. Die Probanden waren ausnahmslos Freizeitsportler mit unterschiedlichen sportlichen Ambitionen, Leistungssportler fanden in diesen Untersuchungen keine Berücksichtigung. Die jeweiligen differenzierten anthropometrischen Probandendaten der verschiedenen Teilstudien sind jeweils in den entsprechenden Kapiteln dargestellt.

| Teilstudie | n | | |
|---|------|--------|--------|
| | GesG | Männer | Frauen |
| Belastungscharakteristika von FahrradfahrerInnen im Alltag (»AlltagsfahrradfahrerInnen«) | 27 | 17 | 10 |
| Belastungscharakteristika von RennradfahrerInnen im Alternsgang (»RennradradfahrerInnen«) | 75 | 40 | 35 |
| Belastungscharakteristika von Mountainbikefahrern im Alternsgang (»Mountainbiker-1«) | 61 | 61 | |
| Belastungscharakteristika von Mountainbikefahrern auf definierter Rundstrecke (»Mountainbiker-2«) | 31 | 31 | |
| Einfluß verschiedener Böden auf die Belastungsparameter | 22 | 22 | |
| Einfluß verschiedener Zusatzlasten auf die Belastungsparameter | 5 | 5 | |

Abbildung 2.1-1: Anzahl der in den verschiedenen Teilstudien involvierten Probanden für die jeweilige Gesamtgruppe (GesG) als auch differenziert für Männer und Frauen

2.2 Untersuchungsang

Jede Untersuchung setzte sich aus einem Labortest unter standardisierten Bedingungen, einem Feldtest und einem Fragebogen zur Erhebung trainingsanamnestischer Daten zusammen.

2.2.1 Labortest

Der Labortest diene einerseits der Funktionsprüfung des Herz-Kreislaufsystems, um kardiovaskuläre Erkrankungen auszuschließen, andererseits der Erhebung standardisierter Referenzwerte unter Laborbedingungen.

Der Labortest wurde zeitlich immer vor dem Feldtest durchgeführt und immer an einem anderen Tag wie der Feldtest.

Die Laboruntersuchung bestand aus einer klinischen Untersuchung, einem Ruhe-EKG und einer fahrradergometrischen Belastungsuntersuchung.

Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung diene der Erhebung des aktuellen Gesundheitsstatus und umfaßte Anamnese sowie körperliche Untersuchung.

Ruhe EKG

Es wurde ein Ruhe-EKG erhoben, das die Standardableitungen (Bipolare Extremitätenableitungen I, II, III; verstärkte unipolar Ableitungen aVR, aVL, aVF nach Goldberger; unipolare Brustwandableitungen VI-V6 nach Wilson) registrierte.

Fahrradergometrie

Die Fahrradergometrie wurde ausschließlich in sitzender Position auf einem drehzahlunabhängigen elektronisch gebremsten Ergometer als stufenförmiger Maximaltest nach dem Belastungsschema von HOLLMANN/VENRATH (in ROST/HOLLMANN 1982) durchgeführt. Hierbei wurde beginnend mit 30 Watt die Belastung alle drei Minuten um 40 Watt erhöht. Die Tretfrequenz sollte in der Regel zwischen 60-80 min⁻¹ liegen; bei ambitionierten Radfahrern konnte diese jedoch auch etwas höher liegen, um die Vergleichbarkeit zu den Feldtests zu gewährleisten. So ist bekannt, daß Radrennfahrer im Training meistens Tretfrequenzen über 80 min⁻¹ wählen (MARSH/MARTIN 1997, STEGEMANN et al. 1968; TAKAISHI et al. 1996; ULMER 1969, 1973a und 1973b).

Während der Fahrradergometrie wurde das Belastungs-EKG mit den Brustwandableitungen V2, V4 und V5 erhoben. Das EKG lief während der gesamten Untersuchung bei einem Vorschub von 1,25 mm/s mit; ca. 30 Sekunden vor Beendigung der jeweiligen Belastungsstufe und in der 1., 3. und 5. Erholungsminute wurde für 15 Sekunden ein Ausdruck mit 25 mm/s erstellt.

Im Rahmen der Fahrradergometrie wurden folgende Parameter erhoben:

- 1) Herzfrequenz
- 2) Blutdruck
- 3) Laktat
- 4) Leistung
- 5) RPE

Die Erhebung der gesamten Parameter erfolgte sowohl in Ruhe als auch unter Belastung jeweils in den letzten 30 Sekunden der entsprechenden Belastungsstufe. Die in der Nachbelastungsphase erhobenen Parameter Herzfrequenz und

Blutdruck dienen nur der Kontrolle eines regelgerechten Verlaufs und gingen nicht in die Datenauswertung der vorliegenden Arbeit ein.

Im folgenden wird die Erhebung der verschiedenen Parameter näher erläutert; der Übersicht halber werden des weiteren die konkreten in die statistische Auswertung eingegangenen Parameter mit den generell in der Arbeit verwendeten Abkürzungen vorgestellt.

Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde sowohl in Ruhe, jeweils ca. 30 s vor Beendigung einer Belastungsstufe als auch in der 1., 3. und 5. Nachbelastungsphase ermittelt. Hierzu wurden über einen Zeitraum von 15 Sekunden die R-Zacken des EKGs gezählt und mit 4 multipliziert.

Für die statistische Auswertung wurden die Herzfrequenzen auf den einzelnen Belastungsstufen (Bel_x), die maximale Herzfrequenz (Hf-max) als auch die durch Interpolation errechnete Herzfrequenz bei 3 mmol/l Laktat (Hf-3mmol) herangezogen.

Blutdruck

Die Blutdruckmessung erfolgte indirekt nach dem Verfahren von Riva/Rocci mittels eines halbautomatischen Blutdruckmeßgerätes. In Ruhe wurde sowohl der systolische als auch der diastolische Blutdruck erhoben; unter Belastung wurde ca. 30 Sekunden vor Beendigung einer Belastungsstufe sowie in der 1., 3. und 5. Erholungsminute ausschließlich der systolische Blutdruck ermittelt.

Für die Auswertung wurden die Blutdruckwerte in Ruhe nach den Grenzen der WHO wie folgt eingeteilt:

| | systolisch (mmHg) | diastolisch (mmHg) |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------|
| normal | 100-139 | 80-89 |
| grenzwertig | 140-159 | 90-94 |
| hyperton | über 160 | über 95 |

Abbildung 2.2-1: Einteilung systolischer und diastolischer Blutdruckwerte in Ruhe nach den Grenzen der WHO

Die Beurteilung der Blutdruckwerte unter Belastung erfolgte nach den Empfehlungen von HECK (HECK et al. 1984). Laut Faustformel gilt ein systolischer Blutdruck unter Belastung als normoton, wenn 200 mmHg erst auf einer Belastungsstufe von 200 Watt minus Lebensalter in Jahren erreicht oder überschritten werden; geschieht dies auf einer niedrigeren Stufe, so ist dieses Blutdruckverhalten belastungshyperton.

Laktat

Die Blutentnahme erfolgte aus dem Ohrläppchen mittels einer 0,02 ml geeichten Capilette sowohl in Ruhe sowie ca. 10-15 Sekunden vor Beendigung einer Belastungsstufe.

Die Bestimmung der Laktatkonzentration wurde nach der von MADER et al. (1979) modifizierten Methode von GUTMANN/WAHLEFELD (1974) im Labor des Instituts für Kreislaufforschung und Sportmedizin der DSHS Köln durchge-

führt.

Für die statistische Auswertung wurde der aus den zweifach bestimmten Proben gemittelte jeweils maximale Laktatwert (La-max) der einzelnen Belastungsstufen herangezogen.

Leistung

Zur Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit wurde die maximal bewältigte Belastung herangezogen. Bei nicht vollständig bewältigter Belastungsstufe wurde die Leistung je nach erbrachter Stufendauer zwischen der nächst niedrigeren und der entsprechenden Belastungsstufe interpoliert.

Für die statistische Auswertung wurde die maximale Leistungsfähigkeit (P-max), die durch Interpolation errechnete Leistung bei 3 mmol/l Laktat (P-3mmol) und die relative Leistungsfähigkeit (P-rel) herangezogen. Weiterhin wurde die Istleistung in Relation zur alters- und gewichtsbezogenen Norm gesetzt (Pist-von-Psoll), welche nach ROST et al. (1991) für Männer mit 3 Watt/kg Körpergewicht minus ein Prozent pro Lebensjahr jenseits des 30. Lebensjahrs sowie für Frauen mit 2,5 Watt/kg Körpergewicht minus 0,8 Prozent pro Lebensjahr jenseits des 30. Lebensjahrs definiert ist.

RPE

Ca. 10-15 Sekunden vor Beendigung der jeweiligen Belastungsstufe wurde das subjektive Belastungsempfinden (**R**ating of **P**erceived **E**xertion) anhand der ins Deutsche übersetzten 15-stufigen RPE-Skala nach BORG (vgl. BORG/NOBLE 1974), auch BORG-Skala genannt, ermittelt (Abbildung 2.2-2).

| | |
|----|-------------------|
| 6 | |
| 7 | sehr sehr leicht |
| 8 | |
| 9 | sehr leicht |
| 10 | |
| 11 | leicht |
| 12 | |
| 13 | etwas anstrengend |
| 14 | |
| 15 | schwer |
| 16 | |
| 17 | sehr schwer |
| 18 | |
| 19 | sehr sehr schwer |
| 20 | |

Abbildung 2.2-2: Die BORG-Skala oder RPE-Skala

Für die statistische Auswertung wurde der maximale RPE-Wert (RPE-max) und der durch Interpolation errechnete RPE-Wert bei 3 mmol/l Laktat (RPE-3mmol) herangezogen.

2.2.2 Feldtest

Der Feldtest bestand aus einer einmaligen Fahrradfahrt mit einem vom Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin zur Verfügung gestellten Testfahrrad (je nach Untersuchung Tourenrad, Rennrad oder Mountainbike), das mit dem von SCHOBERER (1987) entwickelten SRM-Trainingssystem (Kapitel 2.3.2.1) ausgestattet war. Fahrtstrecke, Fahrtdauer und Belastungsintensität waren frei wählbar. Die Testfahrten sollten repräsentativ sein für das persönliche Fahrverhalten der Probanden.

Im Feldtest wurden folgende Parameter erhoben bzw. errechnet:

- 1) Leistung
- 2) Tretfrequenz
- 3) Herzfrequenz
- 4) Geschwindigkeit
- 5) Zeit
- 6) Strecke
- 7) RPE
- 8) Laktat
- 9) Energieverbrauch.

Die 6 zuerst aufgeführten Parameter 'Leistung' bis 'Strecke' wurden mit Hilfe des SRM-Trainingssystems ermittelt. Je nach Studie wurden Speicherfrequenzen von 1-7 s gewählt; die jeweiligen Speicherfrequenzen für die entsprechenden Teilstudien finden sich in den entsprechenden Kapiteln. Die weitere Auswertung der Daten erfolgte computergestützt.

Leistung

Über Verformungselemente, die sich in einer Scheibe des SRM-Powermeters in der Tretkurbel befanden, wurde das Drehmoment errechnet. Dieses ergab multipliziert mit der Winkelgeschwindigkeit die Leistung.

Für die statistische Auswertung wurden die mittlere Leistung (P_{mw}), die maximale Leistung (P_{max}) und die Bildung von Leistungsklassen herangezogen. Die Leistungsklasseneinteilung beruhte auf dem bei der Ergometrie angewandten Belastungsschema: "0 Watt", "30 Watt", weiterhin Steigerung um jeweils 40 Watt bis "1030 Watt", und "über 1030 Watt".

Tretfrequenz

Aus der über das SRM-Powermeter ermittelten Winkelgeschwindigkeit, die über einen Reedkontakt ermittelt wurde, ergab sich die Tretfrequenz.

Statistisch wurden die mittlere Tretfrequenz (Tf_{mw}), die maximale Tretfrequenz (Tf_{max}), der prozentuale Anteil einer Fahrt, in der die Tretfrequenz gleich Null ist (Tf_{pause}), und die Tretfrequenzklassen ausgewertet. Die Bildung der Tretfrequenzklassen erfolgte in Zehnerschritten von "0 min^{-1} " bis "140 min^{-1} " und die Klasse ">140 min^{-1} ".

Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde über einen am Brustkorb befestigten Herzfrequenzgurt induktiv zum SRM-Powercontrol, einem Minicomputer, gesendet.

Für die statistische Auswertung wurden die mittlere Herzfrequenz (Hf_{mw}), die maximale Herzfrequenz (Hf_{max}) und die Herzfrequenzklassen herangezogen. Die Bildung der Herzfrequenzklassen erfolgte in die Klasse "bis 60 min⁻¹", Steigerung um jeweils 10 min⁻¹ bis "200 min⁻¹" und die Klasse ">200 min⁻¹".

Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit ergab sich aus dem Quotient von der zurückgelegten Strecke pro Radumfang und der dafür benötigten Zeit. Sie wurde über einen an der Vorderradgabel und an den Speichen des Vorderrades montierten Reedkontaktes ermittelt und per Kabel zum SRM-Powercontrol geleitet.

Für die statistische Auswertung wurden die mittlere Geschwindigkeit (v_{mw}) und die maximale Geschwindigkeit (v_{max}) herangezogen.

Zeit

Die Zeit wurde über den Quotienten von Strecke durch Geschwindigkeit errechnet.

Für die statistische Auswertung waren die Gesamtzeit für die Trainingsstrecke (t_{ges}), der prozentuale Anteil der Belastungszeit, in der die Geschwindigkeit und die Tretfrequenz ungleich Null waren (t_{bel}), und der prozentuale Anteil der Pausenzeit, in der die Geschwindigkeit und die Tretfrequenz gleich Null waren (t_{pause}), von Interesse.

Strecke

Die zurückgelegte Strecke wurde aus dem Produkt der erbrachten Geschwindigkeit und der dafür benötigten Zeit errechnet.

Für die statistische Auswertung wurde die Gesamtstrecke (s) herangezogen.

RPE

Direkt nach Beendigung der Fahrradfahrt wurde das subjektive Belastungsgefühl (RPE) für die Testfahrt anhand der BORG-Skala (Abbildung 2.2–2) erhoben.

Laktat

Die Blutabnahme erfolgte direkt nach Belastung sowie in der 3. und 5. Erholungsminute. Die verwendeten Materialien und die Bestimmungsmethode entsprachen den Angaben des Labortests (s. o.).

Für die statistische Auswertung wurde der aus den zweifach bestimmten Proben gemittelte jeweils maximale Laktatwert der in der Erholungsphase abgenommen Proben herangezogen (La).

Energieverbrauch

Einen respiratorischen Quotienten von 0,85 vorausgesetzt wurde der Energieverbrauch in kcal (Ev) über die Sauerstoffaufnahme mit Hilfe der folgenden Formel näherungsweise errechnet:

$$\dot{V}O_2 = 300 + 12 * Watt .$$

Da der Verbrauch von einem Liter Sauerstoff 4,87 kcal freisetzt, ergab das Ergebnis der dargestellten Formel mit 4,87 multipliziert den überschlägigen Energieverbrauch in kcal (ROST/HOLLMANN 1982).

2.2.3 Fragebogen

Zur Erhebung trainingsanamnestischer Daten enthielt der Fragebogen jeweils Fragen zum allgemeinen sowie zum radfahrerspezifischen und je nach Studie zum disziplinspezifischen Trainingszustand; weiterhin wurden Fragen zur Motivation und Trainingssteuerung beim Fahrradfahren gestellt.

Für jede Studie wurden eigene Fragebögen entwickelt, die unterschiedliche Aspekte behandelten. Die Inhalte der Fragebögen erschließen sich überwiegend indirekt durch die Darstellung der jeweiligen Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit. Aufgrund der insgesamt hohen Datenfülle sind nur die Testergebnisse der Fragebögen illustriert, die unmittelbar eine Relevanz für die Ergebnisdiskussion der vorliegenden Arbeit aufweisen.

2.3 Apparaturbesprechung

2.3.1 Verwendete Apparate und Utensilien im Labortest

Folgende Apparaturen bzw. Materialien kamen im Labor zur Anwendung:

- 1) Elektrokardiograph Cardioscript (Ruhe-EKG), Typ C6800, Firma Schwarzer GmbH
- 2) EKG-Gerät, Typ Ergoscript EK 3012, Firma Ergo-line GmbH + Co KG
- 3) EKG-Gerät, Typ Cardioscript CS, Firma Schwarzer GmbH
- 4) halbautomatisches Blutdruckmeßgerät, Typ BE 237 R, Firma Schwarzhaupt GmbH
- 5) drehzahlunabhängiges elektronisch gebremstes Fahrradergometer, Typ 380b, Firma Siemens-Elema
- 6) Laktatutensilien:
 - Einmal-Mikropipetten (20 µl)
 - Hämostiletten
 - verschließbare mit 0.2 ml 0.6 N Perchlorsäure gefüllte Reagenzgefäße (1,5 ml)
 - Perchlorsäure (HClO₄, ca. 0.6 mmol/l)

- Zentrifuge, Typ Biofuge A, Firma Haraeus Christ
- Laktatanalysator, Firma Eppendorf: Dosierautomat 5163, Probentisch 5127, Photometer 6120.

2.3.2 Verwendete Apparate und Utensilien im Feldtest

Folgende Apparaturen bzw. Materialien wurden im Feldtest verwendet:

- 1) SRM-Trainingssystem (Kapitel 2.3.2.1)
- 2) handelsübliches Tourenrad der Firma Kettler mit Dreigangnabenschaltung
- 3) handelsübliches Mountainbike der Firma corratec mit folgenden Übersetzungsmöglichkeiten
 - Kettenblätter: 28, 42, und 52 Zähne
 - Zahnkränze: 14, 16, 18, 21, 24, 28, 32 Zähne
- 4) handelsübliches Rennrad der Firma corratec mit folgenden Übersetzungsmöglichkeiten
 - Kettenblätter: 42 und 52 Zähne
 - Zahnkränze: 13, 15, 17, 19, 21, 23, 26 Zähne
- 5) Pulstester, PE 3000, der Firma Sigma Sport
- 6) Laktatutensilien (s. Kapitel 2.3.1)
- 7) Zentrifuge Typ 5415, Firma Eppendorf.

2.3.2.1 Das SRM-Trainingssystem

Das **SchobererRadMeßtechnik-Trainingssystem** wurde von SCHOBERER (1987) entwickelt und bis heute stets verbessert.

Dieses System bietet eine mobile kontinuierliche Datenerhebung für die Parameter Leistung, Herzfrequenz, Tretfrequenz und Geschwindigkeit während einer Fahrradfahrt.

Im folgenden werden verschiedene Aspekte des SRM-Trainingssystems wie dessen Aufbau und Funktionsprinzip, Datenauswertung als auch dessen Meßgenauigkeit näher erläutert.

2.3.2.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip des SRM-Trainingssystems

Das SRM-Trainingssystem setzt sich im wesentlichen zusammen aus dem SRM-Powermeter zur Leistungsmessung, dem SRM-Powercontrol zur Datenspeicherung, einem Herzfrequenzmesser, 2 Reedkontakten zur Messung der Tretfrequenz und der Geschwindigkeit sowie den entsprechenden Kabeln zur Datenweiterleitung. Die Abbildung 2.3–1 zeigt eine graphische Übersicht über die Funktionsweise des SRM-Trainingssystems, Abbildung 2.3–2 den inneren Aufbau des SRM-Powermeters.

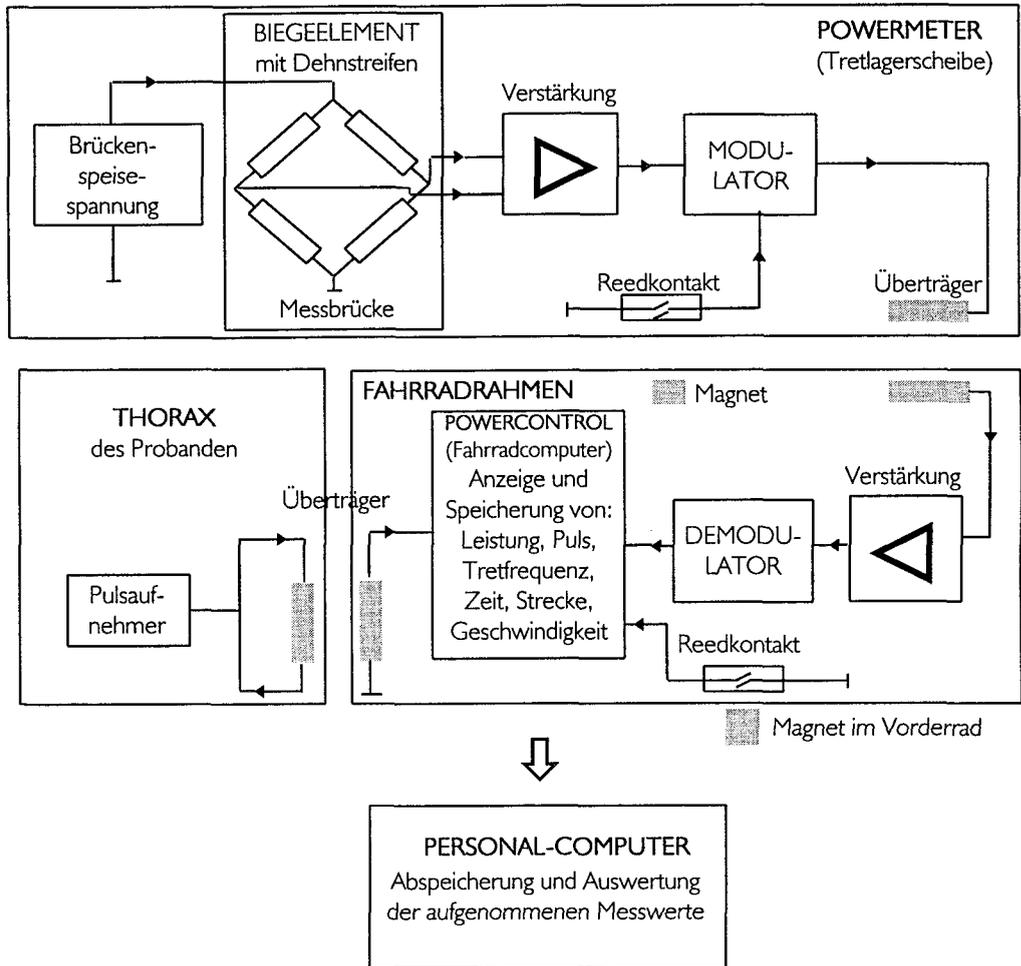


Abbildung 2.3-1: Funktionsweise des SRM-Trainingssystems

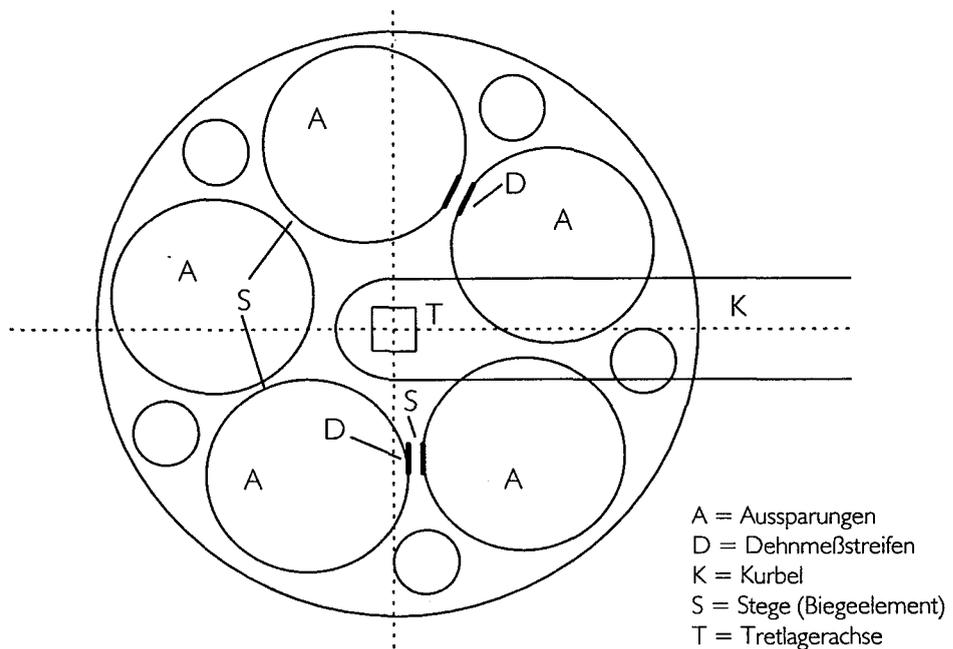


Abbildung 2.3-2: Innerer Aufbau des SRM-Powermeters mit Aussparungen und Dehnmeßstreifen

Das SRM-Powermeter ist eine 670 g schwere, speziell entwickelte Tretlager-scheibe aus Aluminium, in die in regelmäßigen Abständen je nach Ausführung 4 bis 20 kreisrunde Vertiefungen eingelassen sind (Abbildung 2.3–2). Bei über die Tretkurbel einwirkende Kraft messen Dehnmeßstreifen die Verformung des Materials der Stege, die zwischen den Aussparungen bestehen, und liefern ein der Tretkraft proportionales elektrisches Signal. Dieses wird verstärkt, zu einem Spannungsfrequenzumwandler geleitet und entsprechend der Pulsbreite moduliert (Abbildung 2.3–1).

Die Leistung ergibt sich aus dem elektrischen Signal des Drehmoments multipliziert mit der Winkelgeschwindigkeit/Tretfrequenz, welche über einen Reedkontakt ermittelt wird. Dieser besteht zum einen aus einem Reed-Relais, das sich in einer der Aussparungen der Scheibe befindet, und einem Magneten am Fahrradrahmen.

Die elektrischen Signale werden zwecks besserer Übertragbarkeit digitalisiert und berührungslos auf den Fahrradrahmen übertragen. Über einen induktiven Empfänger werden die Daten per Kabel zum SRM-Powercontrol geleitet.

Das SRM-Powermeter bezieht seinen Strom aus einer Lithium Batterie, die eine Betriebsdauer von ca. 2000 h hat.

Die Herzfrequenz wird mittels eines Herzfrequenzgurtes aufgenommen und induktiv an das SRM-Powercontrol gesendet.

Die Fahrgeschwindigkeit wird über einen an der Vorderradgabel und an den Speichen des Vorderrades montierten Reedkontaktes ermittelt und per Kabel zum SRM-Powercontrol geleitet.

In dem SRM-Powercontrol, einem am Lenker befestigten Minicomputer, werden die Daten auf einem Display angezeigt und je nach gewählter Speicherfrequenz abgespeichert. Es können ca. 6400 Meßwerte gespeichert werden.

Das SRM-Powercontrol-Modell, das für die vorliegenden Untersuchungen verwendet wurde, wiegt 410 g und mißt 130 x 40 x 75 mm³.

Das SRM-Powercontrol verfügt über verschiedene Anzeigemodi, so daß sowohl aktuelle Werte, Durchschnittswerte als auch Maximalwerte der einzelnen Parameter (Leistung, Herzfrequenz, Zeit, Tretfrequenz, Geschwindigkeit) abgerufen werden können.

Mit Hilfe des SRM-Powercontrols wird vor jeder Fahrt die manuelle Nullstellenkalibrierung vorgenommen (Kapitel 2.3.2.1.3).

Die Stromversorgung des SRM-Powercontrols erfolgt über NiCD-Akkumulatoren, die regelmäßig aufgeladen werden müssen.

2.3.2.1.2 Auswertung der Daten des SRM-Powercontrols

Die erhobenen Daten werden vom SRM-Powercontrol über eine serielle Schnittstelle auf einen PC übertragen und mit Hilfe des von SCHOBERER entwickelten Softwareprogramms „ergo“ in den Computer eingelesen.

Dieses Programm bietet weiterhin die Möglichkeit, sich einen tabellarischen, graphischen und auch statistischen Überblick über die erhobenen Daten zu verschaffen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Programm „ergo“ jedoch nur zur Datengewinnung genutzt; über das von SCHOBERER entwickelte Softwareprogramm „trans“ wurden die Daten in ASCII-Dateien umgewandelt und mit den Software-

programmen Excel 4.0/5.0/7.0, Winword 7.0, SPSS 5.01/7.0, ACCESS 3.0 sowie Plotit 3.1 weiterverarbeitet.

2.3.2.1.3 Meßgenauigkeit des SRM-Trainingsystems

Die Meßgenauigkeit der Leistungswerte ist entscheidend abhängig von der sorgfältigen Nullstellenkalibration. So sollte am günstigsten vor jeder Testfahrt, bei jeder Temperatur- und Witterungsänderung und nach jeder Montage des Powermeters die Nullstelle neu eingestellt werden.

Die Nullstelle ist die Ruhefrequenz des SRM-Powermeters, eine Art Eigenschwingung der Scheibe. Sie ist die Frequenz, bei der keine äußere Kraft, d. h. kein Drehmoment, der Tretlagerachse anliegt.

Da bei der Leistungsmessung von der insgesamt gemessenen Frequenz die Nullstelle subtrahiert wird, würde eine falsch eingestellte Nullstelle einen systematischen Fehler der Leistungswerte bedingen.

Die Leistung wird wie folgt berechnet:

$$P = \frac{(\text{gemessene Frequenz} - \text{Nullstelle}) \times TF \times 2\pi}{\text{Steigung}^* \times 60} \left[\frac{\text{Hz} \times \text{min}^{-1}}{\frac{\text{Hz}}{\text{Nm}}} \right]$$

* einmal bestimmte Konstante für jeden SRM-Powermeter

Nach einer Untersuchung von HECK/BUCHHOLZ (1994) entspricht das mobile Leistungsmeßsystem von SCHOBERER (1987) hinsichtlich Richtigkeit, Reproduzierbarkeit, Langzeitkonstanz und Temperaturgang weitgehend den definierten Gütekriterien für stationäre medizinische Fußkurbelergometer.

2.4 Statistik

Die statistische Datenauswertung erfolgte sowohl an einem Personal Computer mit Hilfe der Softwareprogramme Excel 5.0/7.0, SPSS 5.01/7.0 und Access 3.0 als auch am Regionalen Rechenzentrum der Universität zu Köln und dem Rechenzentrum an der Deutschen Sporthochschule Köln mit Hilfe der Programme BMDP 7.01 und Easystat 3.2.

Die nachfolgend aufgeführten statistischen Maße und Testverfahren fanden im Rahmen dieser Arbeit Anwendung.

Arithmetisches Mittel

Das arithmetische Mittel (\bar{x}) von Meßwerten ist definiert als deren Summe (Σ), geteilt durch ihre Anzahl (n) (CLAUB/FINZE/PARTZSCH 1994).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Varianz und Standardabweichung

Die Varianz (s^2) einer Stichprobe ist die Summe der Abweichungsquadrate aller Meßwerte (n) einer Verteilung von ihrem arithmetischen Mittel (\bar{x}), dividiert durch die um 1 verminderte Anzahl ($n-1$) der Messungen (CLAUB/EBNER 1985).

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Die Standardabweichung ($\pm s$) errechnet sich aus der Quadratwurzel der Varianz (CLAUB/EBNER 1985).

$$\pm s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Häufigkeitsverteilung

Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse in Häufigkeitsverteilungen ist eine Form der beschreibenden Statistik und erfolgt in Tabellen oder in Graphiken mit Hilfe von charakteristischen Maßzahlen wie z. B. dem arithmetischen Mittelwert (\bar{x}) und der Standardabweichung (s). Es kann beurteilt werden, ob die empirische Häufigkeitsverteilung einer der typischen Verteilungsformen ähnelt (glockenförmige, U-förmige, J-förmige, unimodale, bimodale, schmalgipflige oder flache Kurve) (CLAUB/EBNER 1985). Weiterhin läßt die Analyse einer Häufigkeitsverteilung Verteilungsvergleiche zu ähnlichen empirischen Untersuchungen zu.

Korrelationskoeffizient mit Signifikanztest

Den Grad eines linearen Zusammenhangs zwischen zwei metrisch skalierten Datenreihen einer normal verteilten Grundgesamtheit wird durch den PEARSON-BRAVAISschen Maßkorrelationskoeffizienten beschrieben (CLAUB/FINZE/PARTZSCH 1994).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1) s_x s_y}$$

| | |
|-------------------|---|
| $(x_i - \bar{x})$ | Abweichung jedes x-Wertes von seinem Mittelwert |
| $(y_i - \bar{y})$ | Abweichung jedes y-Wertes von seinem Mittelwert |
| n | Anzahl der Meßwertpaare |
| $\pm s_x$ | Standardabweichung der x-Werte |
| $\pm s_y$ | Standardabweichung der y-Werte |

Die Prüfung der Korrelation auf eine signifikante Unterscheidung von Null erfolgt über eine t-Verteilung mit $n-2$ Freiheitsgraden nach Fischer (CLAUB/EBNER 1985).

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Um von einem statistisch gesicherten Zusammenhang ausgehen zu können, muß unter Berücksichtigung von Freiheitsgrad und Irrtumswahrscheinlichkeit der t-Wert kleiner sein als der errechnete Korrelationskoeffizient r . Einen schnellen

Überblick, ob die Nullhypothese zu verwerfen oder zu bestätigen ist, bietet eine entsprechende Tafel, die in Abhängigkeit von Freiheitsgrad und Irrtumswahrscheinlichkeit die Zufallshöchstwerte von r zusammenfaßt (CLAUB/EBNER 1985).

Als Interpretationshilfe für die Höhe des Korrelationskoeffizienten kategorisiert BÖS (1983) - wie nachfolgend aufgeführt - die Höhe der Korrelationskoeffizienten in niedrige, mittlere und hohe Zusammenhänge. Rechts daneben sind die in der vorliegenden Arbeit der Übersicht halber verwendeten Formatierungsmerkmale für die Darstellung der entsprechenden Ergebnisse angegeben.

- ◆ niedriger Zusammenhang mit $0.0 < |r| < 0.4$ normal
- ◆ mittlerer Zusammenhang mit $0.4 < |r| < 0.7$ **fett**
- ◆ hoher Zusammenhang mit $0.7 \leq |r| < 1$ **fett und unterstrichen**

T-Test für abhängige Stichproben (gepaarter T-Test)

Der T-Test für abhängige Stichproben prüft, ob der Mittelwertunterschied zweier abhängiger intervallskalierteter Stichproben rein zufällig oder signifikant ist. Mittels eines Korrelationskoeffizienten wird die Reliabilität der beiden Messungen bestimmt (CLAUB/EBNER, 1985).

Test auf Gleichheit der Steigung

Der Test auf Gleichheit der Steigung unterschiedlicher Geraden, definiert durch entsprechende Meßwiederholungen, ist Teil der Kovarianzanalyse. Ergibt die Prüfung auf Gleichheit des Anstiegswinkels (equality of slope) für alle Gruppen und Covariablen keine Signifikanz, so unterscheiden sich die Steigungen der einzelnen Geraden nicht signifikant voneinander.

Test auf Linearität

Mit Hilfe der polynomen Regression wird geprüft, welcher Polynomgrad der Funktion zugrunde liegt. Stimmt das Modell, dann sind für jedes Regressionsmodell die Residuen als beobachtete zufällige Fehler zu betrachten (SACHS, 1984).

In der vorliegenden Untersuchung (Kapitel 3.5) wurde nur geprüft, ob die Funktion linear oder nicht linear ist.

Ist bei der Auswertung der 0. Freiheitsgrad signifikant, so paßt das Modell nicht (Werte unterscheiden sich signifikant vom Modell), ist der 1. Freiheitsgrad nicht signifikant, so trifft das Modell des linearen Trends zu.

Test auf Linearität bei einer Versuchsreihe mit Meßwiederholung

Die Testung auf einen linearen bzw. quadratischen Trend bei einer Versuchsreihe mit Meßwiederholung erfolgt mit Hilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Meßwiederholung mit integrierter Testung linearer bzw. quadratischer Kontraste.