

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 Untersuchungsgang

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 V1-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 dienten 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) modifizierte Methode von GUTMANN/WAHLEFELD (1974) im Labor des Instituts für Kreislaufforschung und Sportmedizin der DSHS Köln durchgeführt.

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

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

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).

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 (T_{fmw}), die maximale Tretfrequenz (T_{fmax}), der prozentuale Anteil einer Fahrt, in der die Tretfrequenz gleich Null ist (T_f -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 (H_{fmw}), die maximale Herzfrequenz (H_{fmax}) 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 Heraeus 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.

Das *SRM-Powermeter* ist eine 670 g schwere, speziell entwickelte Tretlagerscheibe 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 befindetet, 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.

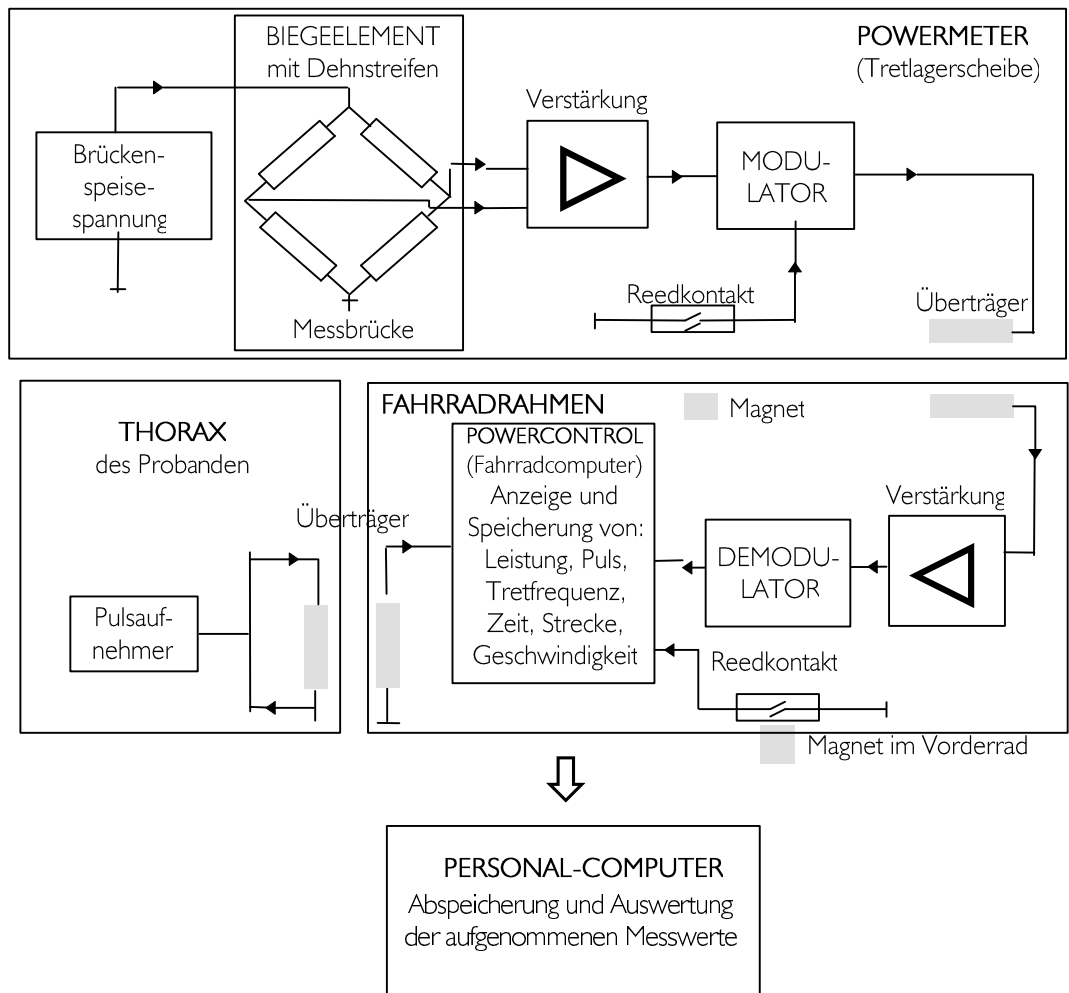


Abbildung 2.3-1: Funktionsweise des SRM-Trainingssystems

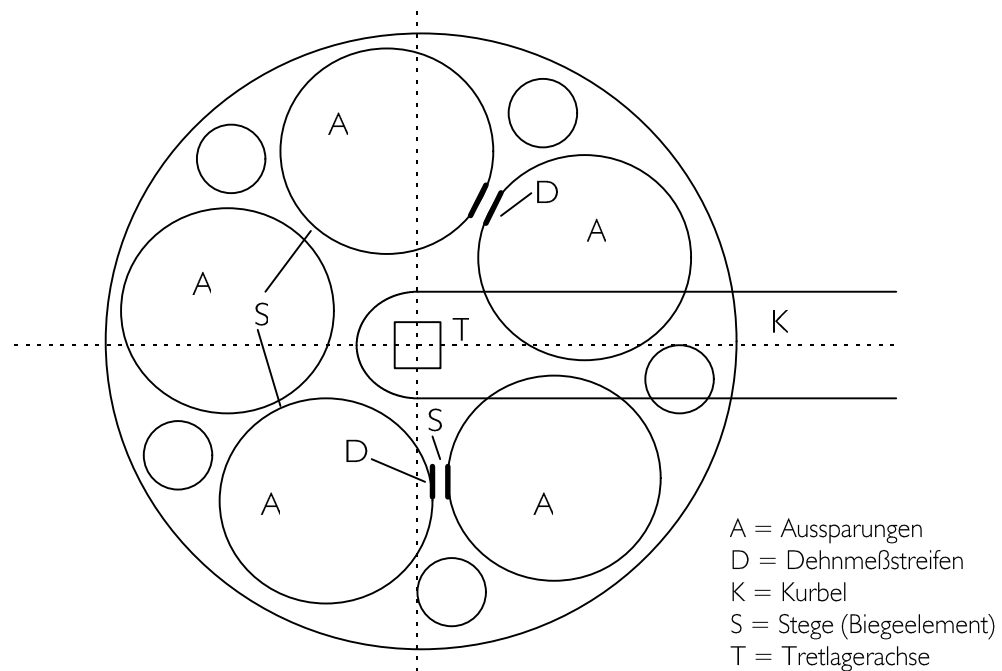


Abbildung 2.3–2: Innerer Aufbau des SRM-Powermeters mit Aussparungen und Dehnmeßstreifen

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 SCHOBENER 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 SCHOBENER entwickelte Softwareprogramm „trans“ wurden die Daten in ASCII-Dateien umgewandelt und mit den Softwareprogrammen 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-Trainingssystems

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) (CLAUß/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 arithmetischem Mittel (\bar{x}), dividiert durch die um 1 verminderte Anzahl (n-1) der Messungen (CLAUß/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 (CLAUß/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) (CLAUß/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 (CLAUß/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 (CLAUß/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 (CLAUß/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 verwen-

deten 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 intervallskalierter Stichproben rein zufällig oder signifikant ist. Mittels eines Korrelationskoeffizienten wird die Reliabilität der beiden Messungen bestimmt (CLAUß/EBNER, 1985).

Test auf Gleichheit der Steigung

Der Test auf Gleichheit der Steigung unterschiedlicher Geraden, definiert durch entsprechende Meßwiederholungen, ist Teil der Covarianzanalyse. 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.

Ein- bzw. mehrfaktorielle Varianzanalyse

Bei der einfaktoriellen Varianzanalyse wird geprüft, ob eine unabhängige Variable (Faktor A) einen Einfluß auf die Mittelwerte einer abhängigen Variable hat.

Bei der mehrfaktoriellen Varianzanalyse wird der Einfluß mehrerer voneinander unabhängigen Gruppeneinteilungen (Faktoren A, B, C etc.) auf die Zellenmittelwerte (Zellen = durch die Kombination der Ausprägung mehrerer Faktoren definierte Gruppen) geprüft.

Folgende Einflüsse können getestet werden:

- ◆ Haupteffekte/Generelle Effekte (A, B, C etc.)
prüfen, inwieweit der Faktor A (B, C, etc.) einen von den anderen Faktoren unabhängigen Einfluß hat. Bei der einfaktoriellen Varianzanalyse wird nur ein Haupteffekt geprüft.
- ◆ Interaktionseffekte
 - Zweier-Interaktionseffekte (AB, AC, BC)
prüfen, inwieweit ein Faktor A (B, C etc.) jeweils von einem anderen Faktor (B, C etc.) abhängig ist.
 - Dreier-Interaktionseffekte (ABC)
prüfen, inwieweit eine Zweier-Interaktion (AB) von jeweils einem an dieser Interaktion nicht beteiligten Faktor (C) beeinflusst wird.

Die Varianzanalyse beruht auf einer Streuungszersetzung. Die Gesamtstreuung setzt sich hierbei aus der Streuung zwischen den Gruppen, der Streuung der Residuen und der Streuung zwischen den Probanden zusammen. Zur mathematischen Herleitung sei auf CLAUß/EBNER (1985), SACHS (1984) und WINER (1971) verwiesen.

Bei signifikanten Interaktionseffekten werden mittels des Newman-Keuls-Tests (SACHS, 1984) systematisch Einzelvergleiche (simple effects) der jeweiligen Teilgruppenmittelwerte (z. B. Effekt des Faktors A auf verschiedenen Stufen des Faktors B; Effekt des Faktors B auf verschiedenen Stufen des Faktors A) vorgenommen. Bei signifikanten Haupteffekten werden mit Hilfe dieses Verfahrens Einzelvergleiche auf allen Stufen des betreffenden Faktors vorgenommen (VOLPERT, 1972a und 1972b).

Für die Untersuchungsauswertung wurden folgende Varianzanalysen angewandt:

- 1) zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf einem Faktor
- 2) zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf zwei Faktoren.

Allen Testverfahren liegen folgende Signifikanzschranken zugrunde:

$p > 0.05$	nicht signifikant	(-)
$p \leq 0.05$	schwach signifikant	(*)
$p \leq 0.01$	signifikant	(**).

2.5 Generelle Auswertungshinweise für die einzelnen Teilstudien

Für die Auswertung der einzelnen Teilstudien lassen sich generell folgende Punkte festhalten:

- ◆ Die statistischen Maßzahlen der im Feldtest erhobenen Parameter basieren mit Ausnahme der Gesamtfahrdauer (t-ges) ausschließlich auf Belastungswerten; Belastungspausen, in denen die Geschwindigkeit und die Tretfrequenz gleich 0 waren, wurden herausgefiltert.
- ◆ Die statistische Auswertung der Fragebögen als auch die Auswertung der Häufigkeitsverteilungen in Parameterklassen erfolgte ausnahmslos deskriptiv.
- ◆ Die Korrelationsdarstellungen für jede Teilstudie werden aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit immer im Kapitel "Relation von Fahrradergometrie- und Feldtestergebnissen" aufgeführt, auch wenn sachlogisch eine Splittung der Darstellung in andere Kapitel angezeigt wäre.
- ◆ Nur sinnvolle Korrelationen werden aufgeführt.